

HIDROLOGÍA DE LAS CUENCAS DE APORTE A YACIRETÁ. ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES.

María del Valle Morresi⁽¹⁾, Graciela V. Zucarelli⁽¹⁾, Rosana Hammerly⁽¹⁾ y Adriana Pongolini⁽²⁾

⁽¹⁾Departamento Hidrología – Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – El Pozo – Santa Fe

⁽²⁾EVARSA – Avellaneda 3180 – Santa Fe

e-mail: valle@fich1.unl.edu.ar, zuca@fich1.unl.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo presenta el análisis pluviométrico de estaciones pertenecientes a las cuencas de aporte a Yaciretá y es parte de las actividades previstas en el estudio “Provisión de la Red Hidrometeorológica y Sistema de Pronóstico de Caudales de Yaciretá”. El área de estudio abarca los tributarios del río Paraná en el tramo comprendido entre el río Iguazú y la sección Encarnación-Posadas, subdividida en 17 subcuencas del lado argentino y 17 subcuencas del lado paraguayo, que corresponden a los cursos más importantes. Se realizó una caracterización geológica y climatológica de la zona de estudio y se realizó el análisis del régimen de precipitaciones de 18 estaciones de Argentina y Paraguay, con las técnicas clásicas de distribución temporal de las series pluviométricas. La aplicación de las metodologías estándares permitió comprobar que las estaciones poseen un régimen hidrológico homogéneo ya que tanto los ciclos anuales observados como la magnitud precipitada son similares.

Palabras clave: Yaciretá, precipitaciones, cuencas, Hidrología.

ABSTRACT

As a part of the activities of the Study “Provision of the Hydrometeorologic network and Flow Forecasting System of Yaciretá”, this paper presents the analysis of precipitation stations in the zone of influence. Of a 19 stations with available data, 4 only possess a longitude of approximately 65 years of data: they are the stations Cerro Azul, Encarnación, Villarrica y Montecarlo. On the other hand, a group of stations with a longitude of approximately 30 years series and the 10 years the rest. The analysis from the precipitations to annual level and monthly level their realized. For the calculation of the precipitations monthly the stations were grouped in North Zone, Central Zone and South Zone. Analyzing the seasonal variation from the precipitations to annual and monthly level you concludes that the stations possess a homogeneous hydrological regimen since so much the annual cycles as the precipitate magnitude they are similar.

Keywords: Yaciretá, precipitations, basins, Hydrology.

INTRODUCCIÓN

Caracterizar el régimen de precipitaciones de una cuenca es importante para realizar estudios de gestión de los recursos hídricos. En ese contexto y dentro del marco de las actividades previstas en el estudio “Provisión de la Red Hidrometeorológica y Sistema de Pronóstico de Caudales de Yaciretá”, se realizó el análisis de las precipitaciones de las estaciones pluviométricas ubicadas en la zona de influencia de las cuencas de aporte a Yaciretá.

De un total de 18 estaciones con datos disponibles, sólo 4 poseen una longitud de registro de aproximadamente 65 años: son las estaciones Cerro Azul, Encarnación, Villarrica y Montecarlo. Existe, por otro lado, un grupo de estaciones con una longitud de serie de aproximadamente 30 años y el resto de 10 años.

Se realizó el análisis de las precipitaciones a nivel anual y mensual. A fin de realizar el cálculo de las precipitaciones medias mensuales se agruparon las estaciones en Zona Norte, Zona Central y Zona Sur, de acuerdo con la ubicación geográfica.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Generalidades

El área de estudio abarca parte de las repúblicas de Argentina y Paraguay incluyendo los tributarios del río Paraná en el tramo comprendido entre el río Iguazú y la sección Encarnación-Posadas. Se analizaron cuencas que poseen áreas de aporte superiores a 100 Km², resultando 17 cuencas para cada uno de los países, correspondientes a los cursos más importantes (Figura 1).

La región pertenece a la cuenca del Plata; por la margen izquierda se encuentra la República Argentina y por la margen derecha, la República del Paraguay.

El curso más importante es el Paraná. Aguas abajo de su confluencia con el Iguazú, el encajonamiento lineal del Paraná origina saltos en los afluentes misioneros. Entre ellos se destacan por su extensión, el arroyo Urugua-í o Marambas y otros de menor longitud, tales como el Aguaray Guazú, Piray Guazú, Paranay Guazú, Yabebiry, etc.

Esta característica de los ríos cuyos lechos forman saltos, rápidos y correderas los hacen aptos para la producción de energía, aunque limita su navegabilidad.

En la margen izquierda, o margen argentina, las cuencas más importantes pertenecen a los ríos Piray Guazú y Piray Miní. Por su parte, en la margen derecha, o paraguaya, las cuencas de mayor área corresponden a los ríos Monday y Ñacunday.

Características Geométricas de las Cuencas

La Tabla 1 muestra los valores de áreas [Km²], pendientes de cuenca [] para los ríos pertenecientes a la margen izquierda, longitud de curso [km] y pendientes de curso para los ríos principales de la república Argentina.

Se observa que las áreas estudiadas van desde 109 Km² (cuenca del río Aguaray Miní), hasta áreas de 2133 Km²; como la cuenca del río Piray Guazú.

Las cuencas de la margen derecha poseen áreas variables entre 99 Km² y 6900 Km², correspondiendo esta última, a la cuenca del río Monday.

La Tabla 2 presenta las características principales de los cursos de la margen derecha.

En lo que respecta a las cuencas de la margen derecha, es posible observar que las áreas de las mismas varían entre 110 Km² y 6902 Km², correspondientes a los ríos San Juan y Monday, respectivamente (Zucarelli et al, 1998).

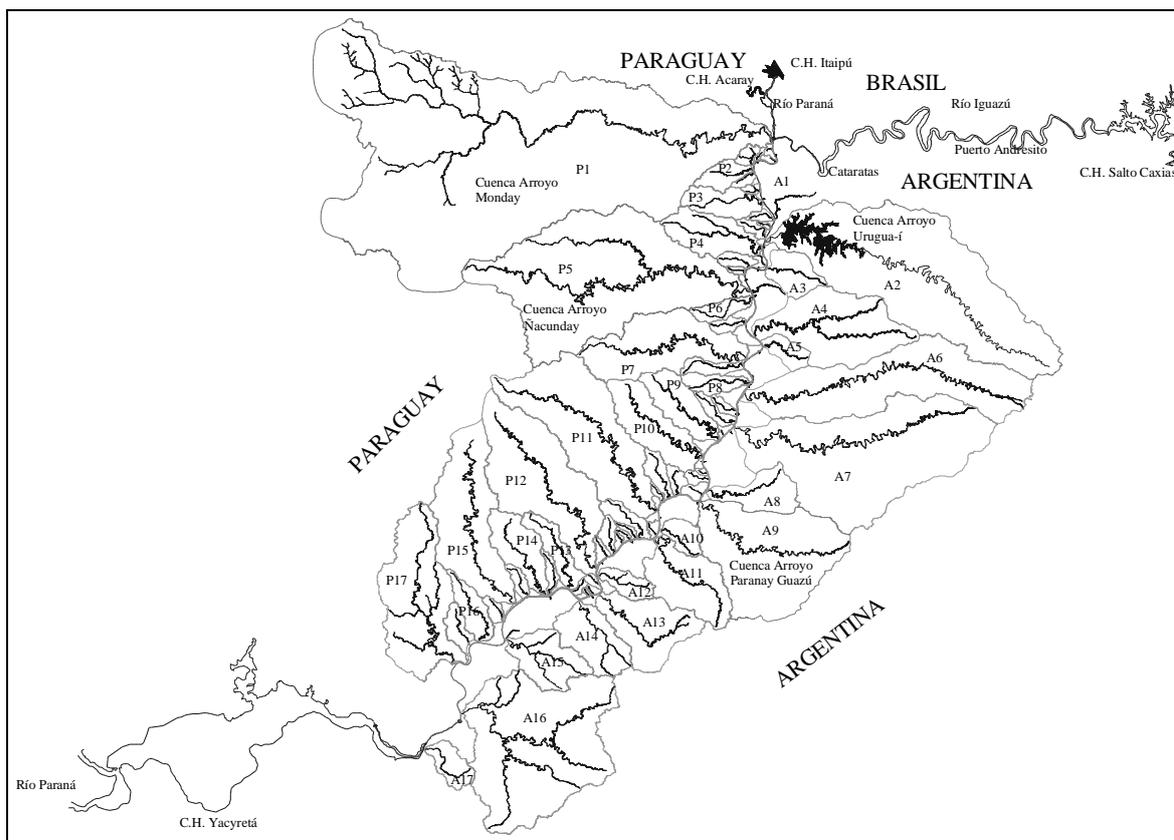


Figura 1. Cuencas de aporte a Yaciretá.

Tabla 1. Características físicas de las cuencas argentinas.

<i>País</i>	<i>Río</i>	<i>Área [Km²]</i>	<i>Pendiente Cuenca []</i>	<i>Longitud Curso [km]</i>	<i>Pendiente Curso []</i>
Argentina	A1- Yasú Argentino	143.73	0.0116	27.74	0.0036
	A2- Urugua Í	2534.00	0.0142	173.5+embalse	
	A3- Tapicúa	198.67	0.0137	26.42	0.0062
	A4- Aguaray Guazú	856.99	0.0201	108.01	0.0030
	A5- Aguaray Miní	108.57	0.0154	24.88	0.0078
	A6- Piray Miní	1481.05	0.0162	206.18	0.0032
	A7- Piray Guazú	2133.68	0.0243	180.27	0.0035
	A8- Itacuruzú	272.69	0.0196	44.82	0.0052
	A9- Paranay Guazú	1327.15	0.0199	115.00	0.0040
	A10- 3 de Mayo	111.77	0.0198	19.72	0.0091
	A11- Garuhapé	507.05	0.0182	74.83	0.0050
	A12- Capioví	117.64	0.0430	21.31	0.0069
	A13- Cuñapirú	514.38	0.0270	62.39	0.0061
	A14- Tabay	369.35	0.0227	36.40	0.0104
	A15- Nacanguazú	341.40	0.0170	34.49	0.0090
	A16- Yabebiry	1883.00	0.0100	124.05	0.0028
	A17- San Juan	141.86	0.0293	25.71	0.0054

Tabla 2. Características físicas de las cuencas paraguayas.

<i>País</i>	<i>Río</i>	<i>Área [Km²]</i>	<i>Pendiente Cuenca []</i>	<i>Longitud Curso [km]</i>	<i>Pendiente Curso []</i>
Paraguay	P1- Monday	6902.44	0.0071	309.14	0.0006
	P2- Itá Coty	113.51	0.0144	18.89	0.0067
	P3- Ytutí	206.00	0.0121	35.73	0.0050
	P4- Pirá Pytá	338.89	0.0128	58.21	0.0037
	P5- Ñacunday	2488.35	0.0108	250.53	0.0012
	P6- Imperial	98.74	0.0390	30.92	0.0079
	P7- Yacuí Guazú	789.39	0.0183	133.15	0.0025
	P8- San Juan	109.77	0.0244	26.09	0.0082
	P9- Yhacá Guazú	297.22	0.0200	60.65	0.0038
	P10- Guarapay	436.31	0.0194	78.70	0.0029
	P11- Tembey	1237.44	0.0157	162.55	0.0020
	P12- Pirayú Í	1170.11	0.0161	143.15	0.0015
	P13- Yaguarazapá	179.42	0.0272	46.88	0.0041
	P14- Manduviyú	301.58	0.0245	52.68	0.0028
	P15- Pirapó	931.41	0.0199	125.25	0.0019
	P16- Mbororé	161.43	0.0219	39.00	0.0044
	P17- Capiíbary	990.72	0.0241	114.22	0.0024

Geología

El área de interés se considera perteneciente a la planicie aluvial asociada al río Paraná (Harza y Consorciados, 1984). Dicha planicie se inicia en San Cosme y se desarrolla hacia el Oeste.

Casi la totalidad del área pertenece a la Formación San Cosme (Cretácico Superior – Terciario Inferior) la cual está rodeada por los basaltos Serra Geral (Jurásico Superior – Cretácico Inferior), menos en el extremo NO que limita con las Areniscas Misiones. Los afloramientos de dichas formaciones son escasos y en la superficie existen suelos derivados de esas formaciones y suelos del Aluvial Reciente.

Areniscas Misiones (Triásico-Cretácico): son areniscas de color rojo claro a rosadas, de origen eólico.

Basaltos Serra Geral (Jurásico Superior – Cretácico Inferior): forman parte de los derrames basálticos del Trapp del Paraná. Los afloramientos del área se encuentran en San Cosme y Potrero Ybaté.

Formación San Cosme (Cretácico Superior – Terciario Inferior): Está constituida por arenas limosas y areniscas de origen eólico de color rojo a castaño oscuro. De grano fino a muy fino, finamente estratificadas, cuarzosas, con granos redondeados a subredondeados y bien clasificadas, brillo mate y recubiertos con óxido de hierro. Las arenas contienen un 20 % de finos.

Aluvial Reciente y Arcilla Residual: los afloramientos de rocas en el área son escasos y la superficie está

formada por suelos derivados de sus correspondientes formaciones subyacentes y del aluvión Reciente. El Aluvial Reciente contiene en áreas de la Presa Isla de Yaciretá, Vertedero Aña Cuá y Presa de Cierre Brazo Aña Cuá, capas de conglomerado duro y arenisca más blanda con más de 4 metros de espesor y cementados con Carbonato de Hierro.

Suelos

El suelo es un recurso natural de primer orden pues sobre él descansa toda la producción agropecuaria. En el área de estudio el suelo es del tipo *Ultisoles* y *Oxisoles*. Los suelos con estas características son suelos que contienen un horizonte argílico con baja saturación. Se hallan en climas húmedos, tropicales y templados (Centro Editor de América Latina, 1981).

Su formación es muy antigua y derivan de materiales originarios fuertemente meteorizados antes de depositarse en su posición actual. La vegetación natural puede ser el bosque, la sabana y la flora de pantanos.

En resumen, son suelos arcillosos en el estrato subsuperficial, pobres en humus y de baja fertilidad. Su capacidad agrícola puede incrementarse con fertilizantes y un buen manejo.

CLIMATOLOGÍA Y METEOROLOGÍA

Clasificación Climática - Generalidades

De acuerdo a la clasificación climática propuesta por

Thornthwaite en 1948, el clima de la región es húmedo, mesotermal, con escaso o nulo déficit de agua y elevada concentración en verano, lo que da origen a una vegetación natural boscosa (Litwin y Molas Franco, 1987). El clima presenta las siguientes características generales:

Temperatura

La temperatura media en la región sigue una onda simple durante el año. Enero es el mes más cálido, con gradientes térmicos orientados al noroeste y temperaturas medias entre 25.5 °C y 26.5 °C. El mes más frío es Junio o Julio, con gradientes térmicos orientados al noroeste y temperaturas medias entre 15.5 °C y 17.0 °C. La temperatura media anual oscila entre los 20.0 °C y 22.0 °C.

Normalmente se registran heladas moderadas y ocasionalmente son fuertes. Las regiones más frías se encuentran al este y sudeste de la provincia de Misiones (República Argentina), con temperaturas mínimas absolutas inferiores a -5.0 °C. Las temperaturas máximas extremas superan los 40.0 °C, siendo ésta indicadora de un clima continental de marcada amplitud térmica.

Precipitación

El régimen pluviométrico, aunque bien marcado, presenta un comportamiento más irregular que la temperatura, las máximas ocurren en los meses de primavera o verano y ocasionalmente en otoño y las mínimas en invierno, generalmente en Julio o Agosto. La precipitación media anual presenta máximos de 2000 mm en el sudeste del área y mínimos cerca de los 1600 mm, en el noroeste (Silber et al., 2000).

Las precipitaciones aumentan de suroeste a noroeste, 1623 mm anuales en Posadas, 1880 mm en Cerro Azul y 2121 mm en Cuartel Río Victoria (Centro Editor de América Latina, 1981).

La variación de un año a otro no es muy sensible, pero pueden presentarse algunos años de sequía extraordinaria que tienen marcada influencia en la cobertura vegetal adaptada al clima húmedo y en la fauna a ella asociada, como ocurrió en 1978.

En general, las precipitaciones disminuyen de este a oeste, son lluvias tanto de convección como de frente, provocadas por el avance del viento pampero.

La velocidad del viento es relativamente baja,

normalmente del orden de 10 km/h, pero en ocasiones presenta valores de 100 km/h, como verdaderos tornados.

Las tormentas severas pueden ocurrir en cualquier época del año, pero son más frecuentes en primavera y verano.

Las diversas combinaciones de precipitación y temperatura permiten distinguir diferentes estados agroclimáticos, todos adecuados para la implantación de cultivos subtropicales con diferencias de matiz.

Meteorología

El área de estudio se encuentra bajo la influencia del anticiclón subtropical del Atlántico Sur, que transporta aire cálido y húmedo a través de la circulación de los vientos del norte y noreste durante todo el año y en ella se desarrollan tormentas locales durante el verano, cuando el calentamiento superficial es intenso y las condiciones de humedad e inestabilidad de la atmósfera son propicias (Litwin y Molas Franco, 1987).

El anticiclón subtropical en su desplazamiento anual meridional se ve perturbado constantemente por la presencia de líneas de inestabilidad, que son los sistemas de mesoescala de mayor responsabilidad en el aporte de las precipitaciones. Estos sistemas meteorológicos normalmente se desplazan de sudoeste a noroeste y presentan gran actividad entre los meses de Octubre y Abril, generando vientos intensos e introduciendo corrientes de aire del sur de corta duración dentro de la circulación noreste del anticiclón del Atlántico.

Existe otro sistema meteorológico de gran trascendencia que son los frentes fríos que irrumpen desde el sudoeste y transportan masas de aire frío y seco desde regiones australes. Estos vientos reemplazan a los cálidos y húmedos del noroeste y luego van girando al sur y sudeste a medida que al anticiclón frío postfrontal se establece en la región de estudio.

Este sistema, que presenta frecuencias mayores en el invierno, es el responsable de la marcada amplitud de la onda anual de la temperatura. Debido al efecto combinado de la advección del aire frío y seco y la posterior pérdida de energía por radiación infrarroja desde el suelo, el aire se enfría violentamente y se producen heladas importantes que ocasionan daños a la agricultura de la región.

ANÁLISIS DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES

Generalidades

El régimen de precipitaciones de una cuenca constituye una característica propia dependiente del clima y de los cambios meteorológicos que se producen en dicha extensión territorial. La descripción y el análisis de este régimen requiere del conocimiento de la distribución espacial, temporal y probabilística del fenómeno analizado, en este caso la precipitación. Antes de realizar estos análisis se debe conformar la serie temporal.

Métodos de contraste de datos e identificación de errores

Esta etapa se realiza con los datos vírgenes, es decir sin ningún tipo de tratamiento. En el análisis de consistencia y homogeneidad, el procesamiento de la información tiene como objetivos (Paoli et al, 1992):

- (i) Identificar la presencia de errores sistemáticos.
- (ii) Detectar la falta de homogeneidad de las series de tiempo y establecer las relaciones causales en el conjunto de estaciones que se analizan.

El método más utilizado es el de doble masa o dobles acumulaciones que consiste en representar en ejes coordenados las parejas de puntos definidas por los valores acumulados cronológicamente de las precipitaciones anuales de la serie de cada estación. Este método sirve para comparar una estación con otra.

De la gráfica realizada se puede identificar si existen errores *sistemáticos* o *puntuales*. Un *error sistemático* se manifiesta por un cambio de pendiente que debe estar dado por cuatro o cinco puntos y puede estar ocasionado por un cambio en el emplazamiento del aparato o deterioro del mismo. Los *errores puntuales* son los más frecuentes, son errores al azar, debido, por ejemplo, a una mala transcripción de los datos o a la influencia de valores extraordinarios de eventos extremos (Tucci, 1993).

Distribución temporal de las precipitaciones

El análisis de la variación temporal de los valores de precipitación agregados se realiza generalmente a nivel de valores anuales y mensuales y requiere la disposición de series históricas de al menos 15 años. Este análisis suele realizarse sobre datos previamente contrastados, corregidos y completados y sirve para caracterizar el régimen pluviométrico

de una región, verificar condiciones de homogeneidad temporal, seleccionar situaciones extremas para todos los estudios que involucren el paso de tiempo anual y mensual.

A efectos de la caracterización temporal de la precipitación, se utilizaron las siguientes curvas:

a) Curva de precipitaciones anuales cronológicas

La representación de los montos precipitados anualmente Pa_i en una determinada estación a lo largo de la serie de años de registros n es el análisis más simple y efectivo que se puede realizar. De esta manera pueden identificarse los años en que se excede a la precipitación media Pam definida como:

$$Pam = \frac{\sum_{i=1}^n Pa_i}{n} \quad (1)$$

Es importante analizar si se presentan secuencias de años en los cuales existen excesos o déficit. Cuando hay condiciones extremas de años muy húmedos o muy secos, se observa que los picos no son aislados, sino que se presentan en un período.

b) Curva de distribución de la precipitación en el año

Consiste en representar los valores de precipitaciones medias mensuales de la serie, lo que sería la distribución de precipitaciones del "año medio" para cada mes.

c) Medias deslizantes

Se utiliza para el análisis de series de tiempo con el objeto de identificar falta de homogeneidad o la presencia de secuencias o ciclos.

El análisis se realiza sobre una muestra de la variable x de tamaño n y consiste en calcular la media aritmética, dada por la siguiente expresión:

$$x_k = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k} \quad (2)$$

donde k varía de 2 a n .

Es decir, se calculan los promedios de tamaños de las submuestras que tienen superposición de datos. Luego se realiza la representación gráfica cronológica de las submuestras de tamaño k . Para valores de k de 3 a 7 años se pueden identificar subperíodos húmedos o secos.

d) Medias cronológicas incrementales

Consiste en obtener la media aritmética de las submuestras que van desde el primer valor hasta el total de años de la muestra, incorporando cada año sucesivo. La última media calculada es la media anual de la serie.

En regímenes homogéneos se nota una tendencia hacia la estabilización de la media al valor medio de la serie. Además, se puede observar si se han producido modificaciones en el régimen hidrológico, es decir decrecimiento o crecimiento en la media.

e) Índices característicos

Para caracterizar el régimen de precipitaciones se emplean una serie de índices, tales como el Rango, el Índice de máxima, el Índice de mínima y el Índice de máxima-mínima, cuyas expresiones son las siguientes:

$$\text{Rango} = Pa_{\text{máx}} - Pa_{\text{mín}} \tag{3}$$

$$\text{Índice de máxima} = \frac{Pa_{\text{máx}}}{Pam} \tag{4}$$

$$\text{Índice de mínima} = \frac{Pa_{\text{mín}}}{Pam} \tag{5}$$

$$\text{Índice de máx - mín} = \frac{Pa_{\text{máx}}}{Pa_{\text{mín}}} \tag{6}$$

Estos índices sirven para comparar cuencas o regiones hidrológicas, es decir permiten analizar la correlación hidrológica y determinar si dos cuencas son o no homogéneas. Otro índice muy utilizado es el *índice de concentración*, cuyo valor debe ser mayor que 1:

$$I_c = \frac{\sum 3 \text{ meses consecutivos } > \text{ precipitación}}{\sum 9 \text{ meses restantes} / 3} \tag{7}$$

f) Índices estacionales

Pueden realizarse para cada año pero lo más práctico es utilizar los valores medios mensuales de la serie.

$$I_{est} = \frac{P_{estacional}}{Pam} \tag{8}$$

La *Pestacional* es la que corresponde a cada región. En este caso son las precipitaciones que corresponden a los siguientes meses:

$$P_{\text{verano}} = \text{DIC} + \text{ENE} + \text{FEB}$$

$$P_{\text{otoño}} = \text{MAR} + \text{ABR} + \text{MAY}$$

$$P_{\text{invierno}} = \text{JUN} + \text{JUL} + \text{AGO}$$

$$P_{\text{primavera}} = \text{SET} + \text{OCT} + \text{NOV}$$

Datos Hidrometeorológicos

La Tabla 3 presenta el código y el nombre de las estaciones, el río al que pertenecen, y la ubicación (latitud, longitud, altitud).

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL RÉGIMEN DE LAS PRECIPITACIONES

De las 18 estaciones algunas poseen una longitud de registro de aproximadamente 30 años y otras de 10 años. La estación Oberá posee solo 6 años de registro, razón por la que no se tuvo en cuenta para la caracterización de la pluviometría. Las diferentes longitudes de las series pluviométricas, puede observarse en la Figura 2, donde se presenta el diagrama de barras a nivel mensual.

Tabla 3. Ubicación de las estaciones pluviométricas.

Código	Nombre Estación	Río	Latitud	Longitud	Altitud [msnm]
233	Villarrica	Paraná	25° 46' 0"	56° 26' 0"	161
542	Caazapa	Pirapó	26° 11' 0"	56° 22' 0"	140
791	Capitán Miranda	Paraná	27° 17' 0"	55° 50' 0"	223
793	Encarnación	Paraná	27° 20' 0"	55° 50' 0"	91
3403	Pinar Ciba	Piray Guazú	26° 28' 0"	54° 35' 0"	95.26
3404	Colonia Mártires	Yabebiry	27° 23' 0"	55° 18' 0"	116
3408	Campo Grande	Acaragua	27° 18' 5"	54° 52' 40"	95.02
3414	El Alcazar	Paranay	26° 44' 38"	54° 45' 0"	91
3415	Montecarlo	Paranay	26° 33' 3"	54° 46' 45"	175
3416	Cerro Azul	Arroyo San Juan	27° 37' 50"	55° 30' 0"	287
3425	Oberá	Yabebiry	27° 31' 5.8"	55° 7' 20.7"	298
3432	A. del Valle	Torto	27° 7' 57"	54° 54' 27"	s/d
3448	Puerto Andresito	Iguazú	25° 36' 0"	53° 59' 0"	211.18
3452	Ita Cajón	Paraná	25° 37' 0"	54° 35' 0"	79.18
3454	Colonia Wanda	Urugua-í	25° 58' 38"	54° 30' 54"	213
3455	Santo Pipó	Ñacanguazú	27° 8' 32.6"	55° 25' 14.5"	172
3812	Ituzaingó	Paraná	27° 34' 42"	56° 40' 28"	62
3402	Posadas	Paraná	27° 22' 60"	55° 52' 60"	12

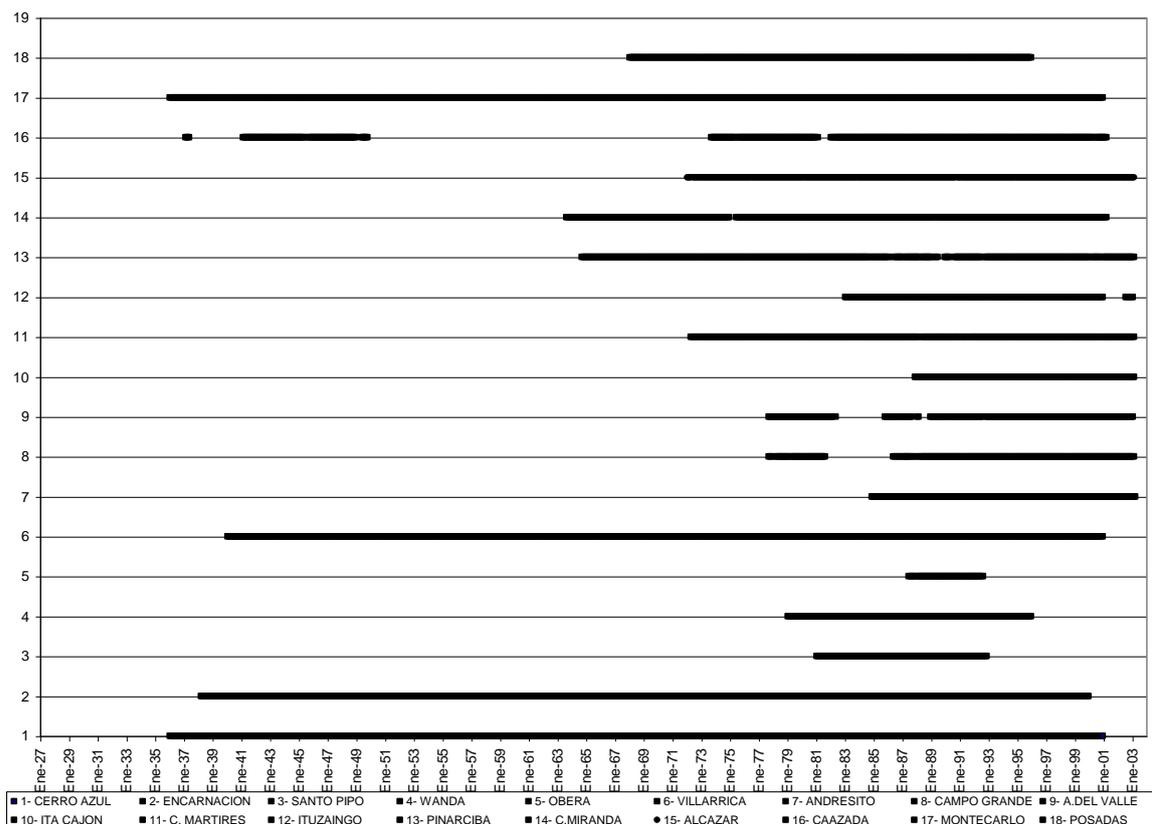


Figura 2. Diagrama de barras de las estaciones pluviométricas analizadas.

A efectos de realizar el análisis temporal de las precipitaciones, fue necesario definir el año hidrológico. Para ello se graficaron las precipitaciones medias mensuales de cada estación, correspondiente a cada longitud de registro particular. Para la mayoría de las estaciones el año hidrológico quedó definido de Agosto a Julio.

Resultados del análisis del régimen de las precipitaciones a nivel anual

La Tabla 4 presenta un resumen de las precipitaciones mínimas, medias y máximas anuales para las estaciones analizadas.

Tabla 4. Resumen de las precipitaciones.

<i>ESTACION</i>	<i>Pmedia [mm]</i>	<i>Pmáxima [mm]</i>	<i>Pmínima [mm]</i>
Villarrica	1617.60	2436.40	989.00
Caazapá	1470.80	2327.30	131.00
Encarnación	1775.10	2656.70	932.30
Pinar Ciba	1718.60	2745.30	558.80
Colonia Mártires	1990.60	2869.20	1027.40
Colonia Grande	1732.40	2666.00	1473.00
El Alcázar	1905.40	2869.20	1027.40
Montecarlo	1817.50	2925.00	889.00
Cerro Azul	1938.90	2756.40	1198.20
Aristóbulo del Valle	1652.40	2713.00	214.00
Puerto Andresito	1774.20	2538.00	173.00
Itá Cajón	1601.00	2569.50	324.50
Colonia Wanda	1874.50	2629.40	1361.40
Santo Pipó	2006.70	3158.00	1156.00
Ituzaingó	1787.00	2470.00	1145.00
Posadas	1740.00	2527.40	1050.50
Capitán Miranda	1751.60	2539.90	1117.60
Oberá	1346.60	2139.90	820.00

La precipitación media anual en todas las estaciones es superior a los 1000 mm y la precipitación máxima anual llegó a presentar un valor de 3158 mm en la estación Santo Pipó. A partir de la definición del año

hidrológico, se graficaron las medias cronológicas incrementales, las medias anuales y las precipitaciones anuales de la serie de cada estación y pueden observarse en las Figuras 3 a 19 para cada periodo disponible.

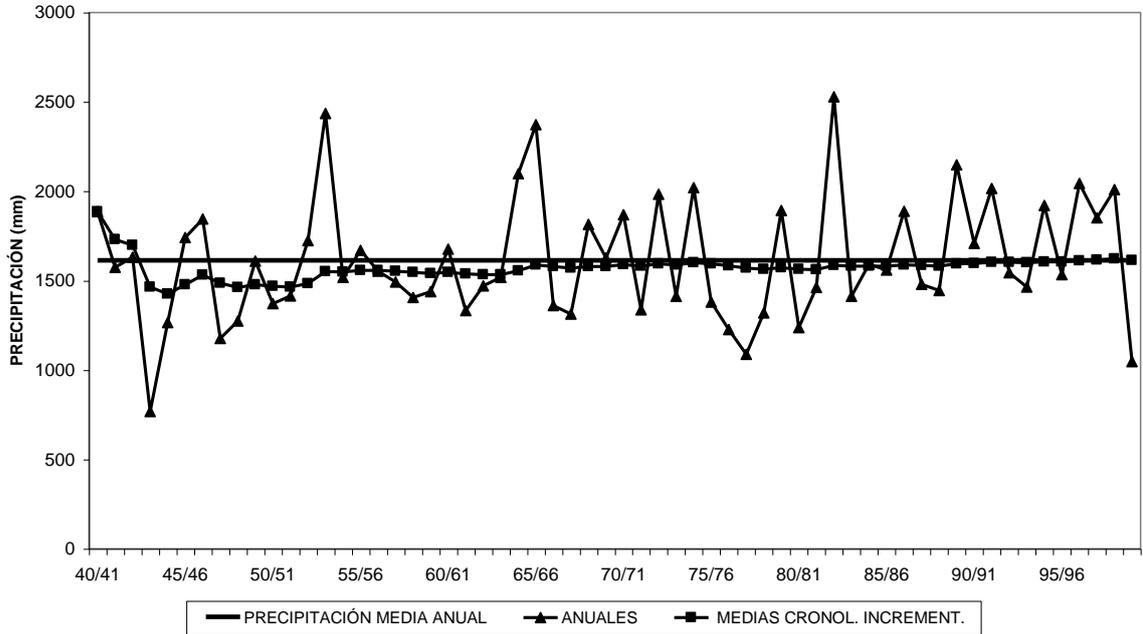


Figura 3. Precipitaciones anuales. Estación Villarrica - Serie 40/41-99/00.

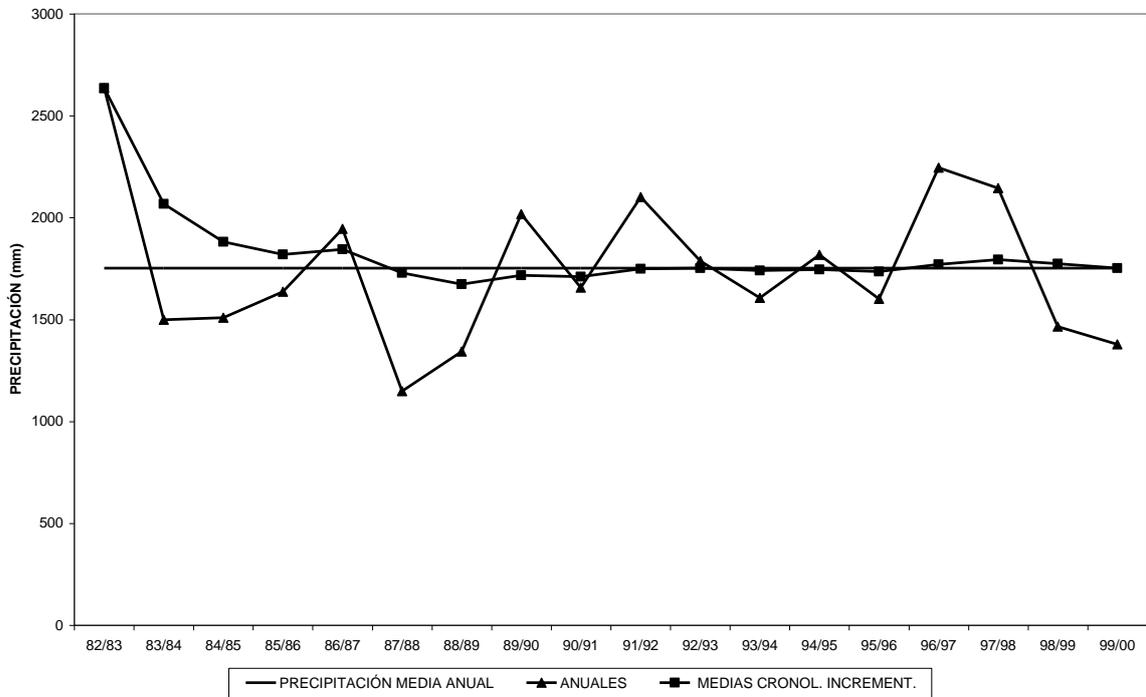


Figura 4. Precipitaciones anuales. Estación Caazapá - Serie 82/83-99/00.

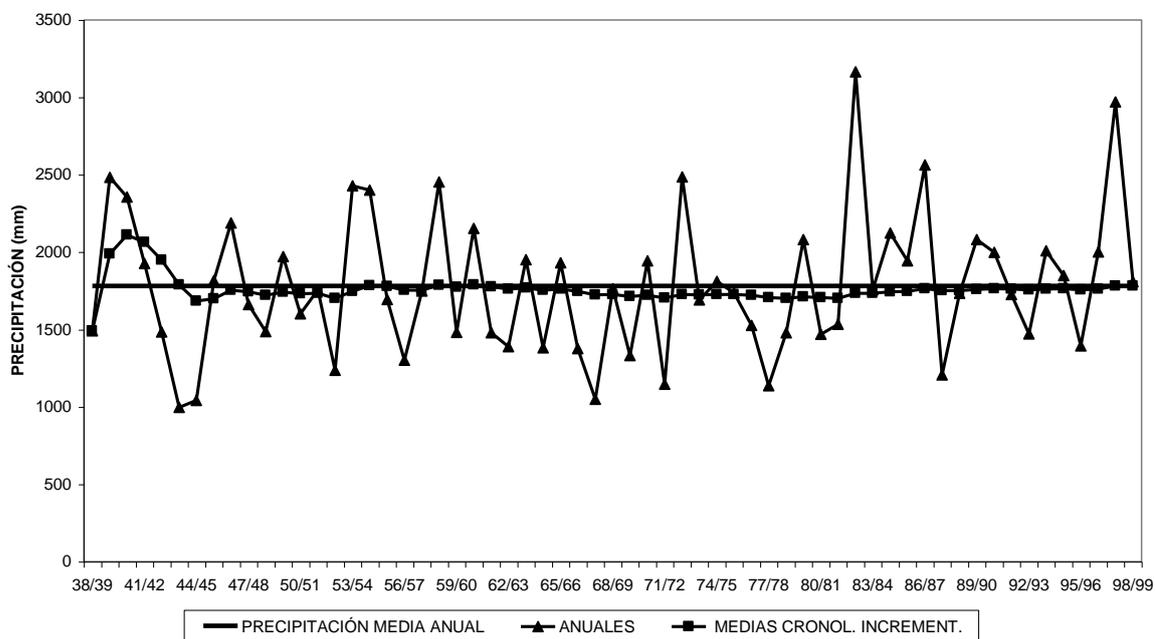


Figura 5. Precipitaciones anuales. Estación Encarnación - Serie 38/39-98/99.

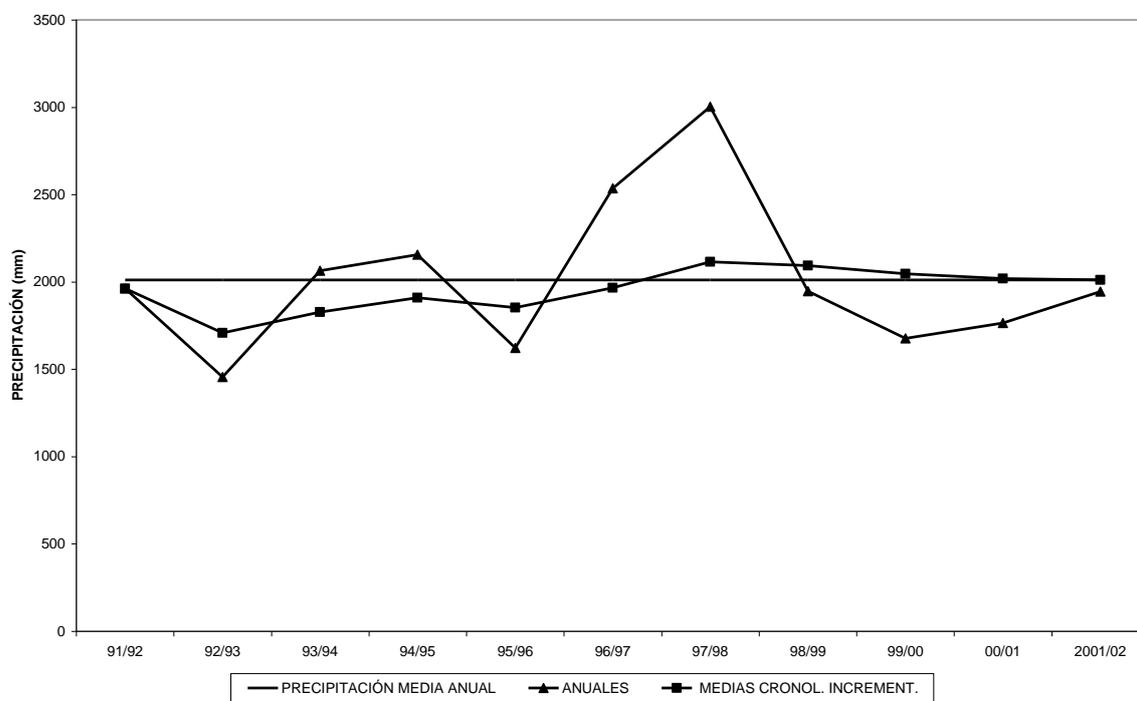


Figura 6. Precipitaciones anuales. Estación Pinar Ciba - Serie 91/92-01/02.

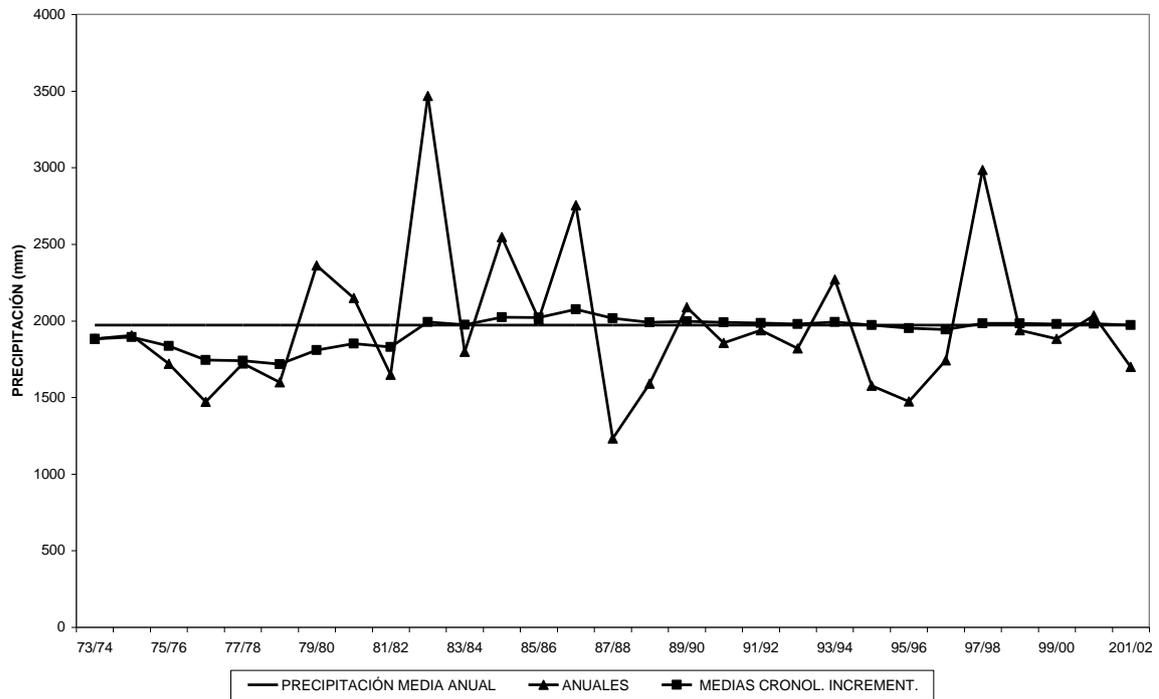


Figura 7. Precipitaciones anuales. Estación Mártires - Serie 73/74-01/02.

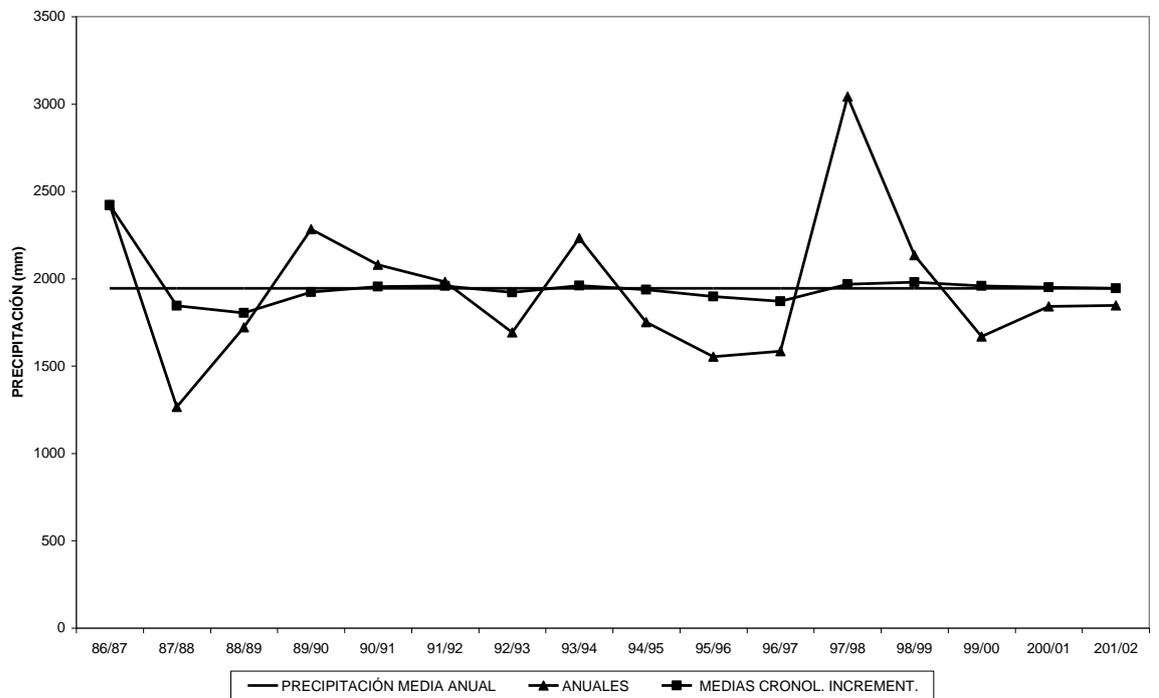


Figura 8. Precipitaciones anuales. Estación Campo Grande. Serie 86/87-01/02.

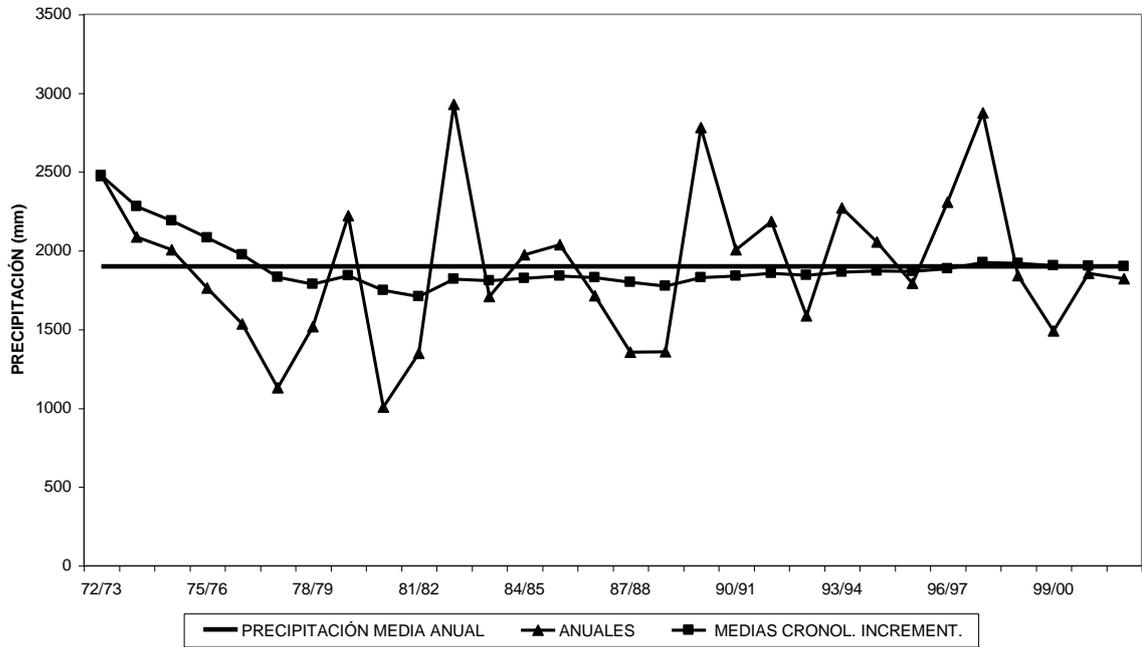


Figura 9. Precipitaciones anuales. Estación El Alcázar - Serie 72/73-01/02.

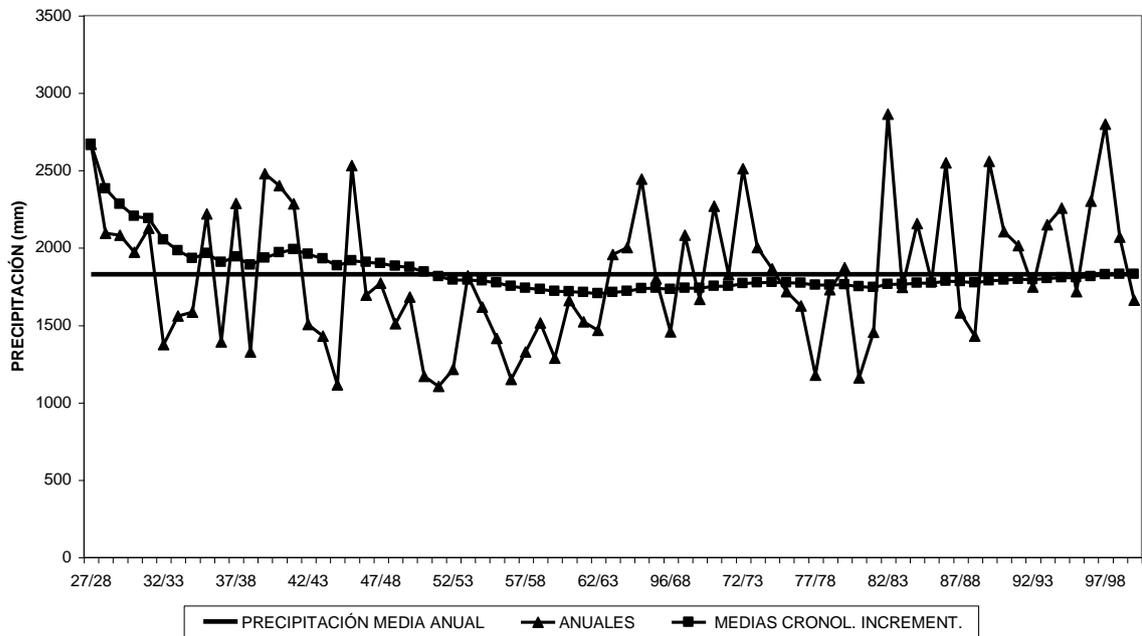


Figura 10. Precipitaciones anuales. Estación Montecarlo - Serie 27/28-99/00.

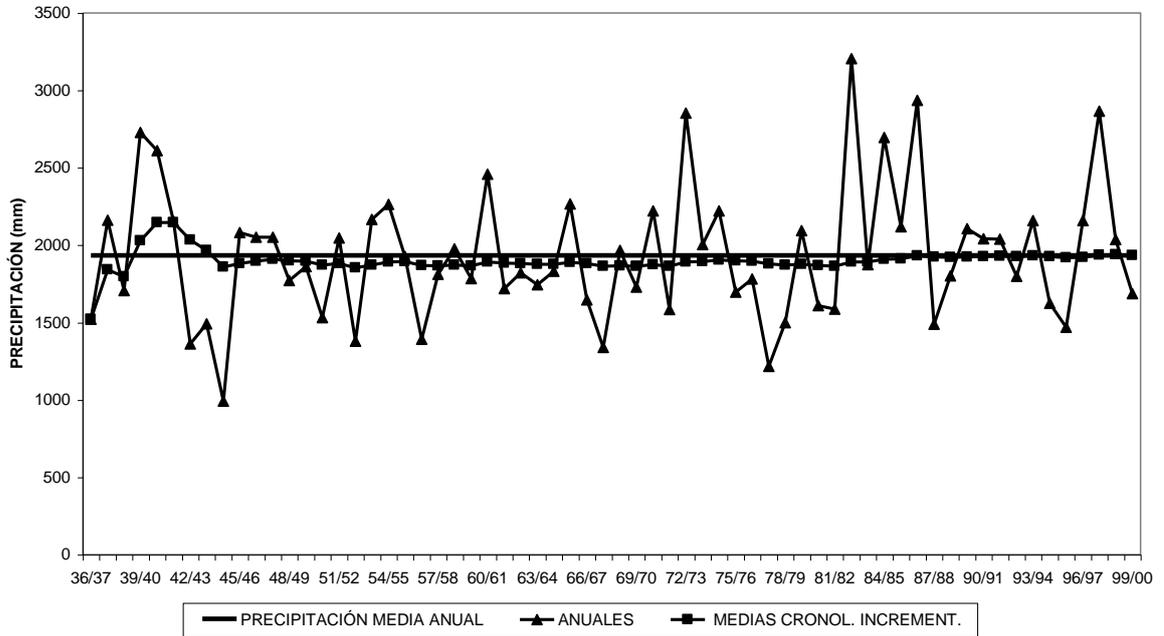


Figura 11. Precipitaciones anuales. Estación Cerro Azul - Serie 36/37-99/00.

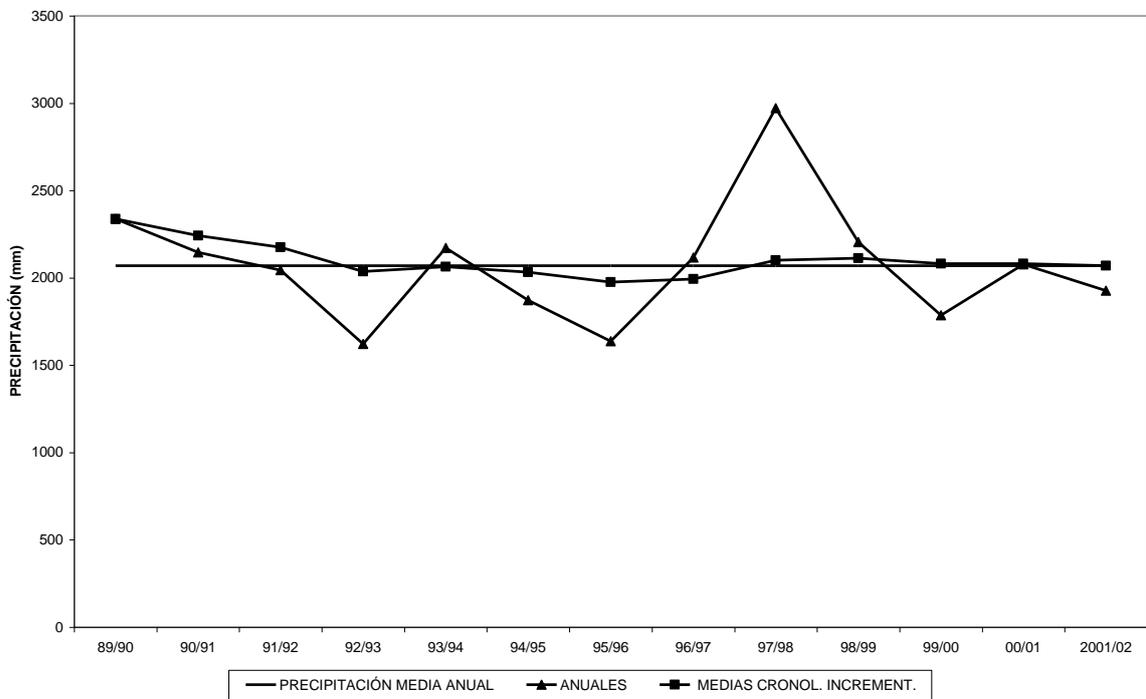


Figura 12. Precipitaciones anuales. Estación Aristóbulo del Valle. Serie 89/90-01/02.

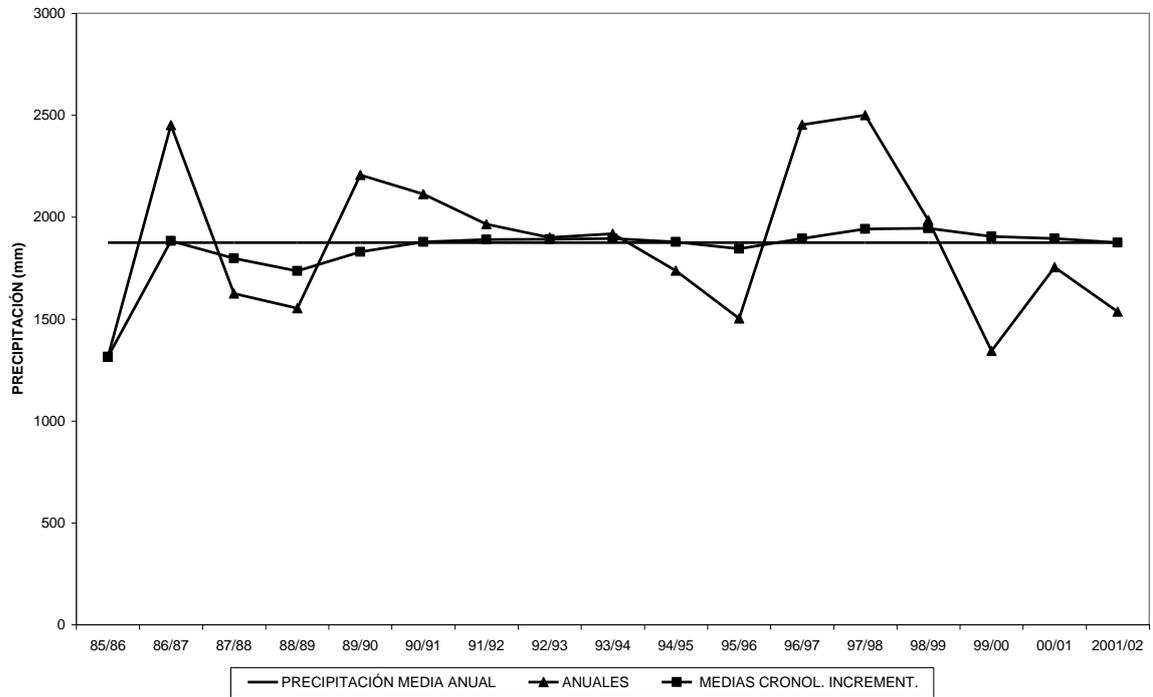


Figura 13. Precipitaciones anuales. Estación Puerto Andresito. Serie 85/86-01/02.

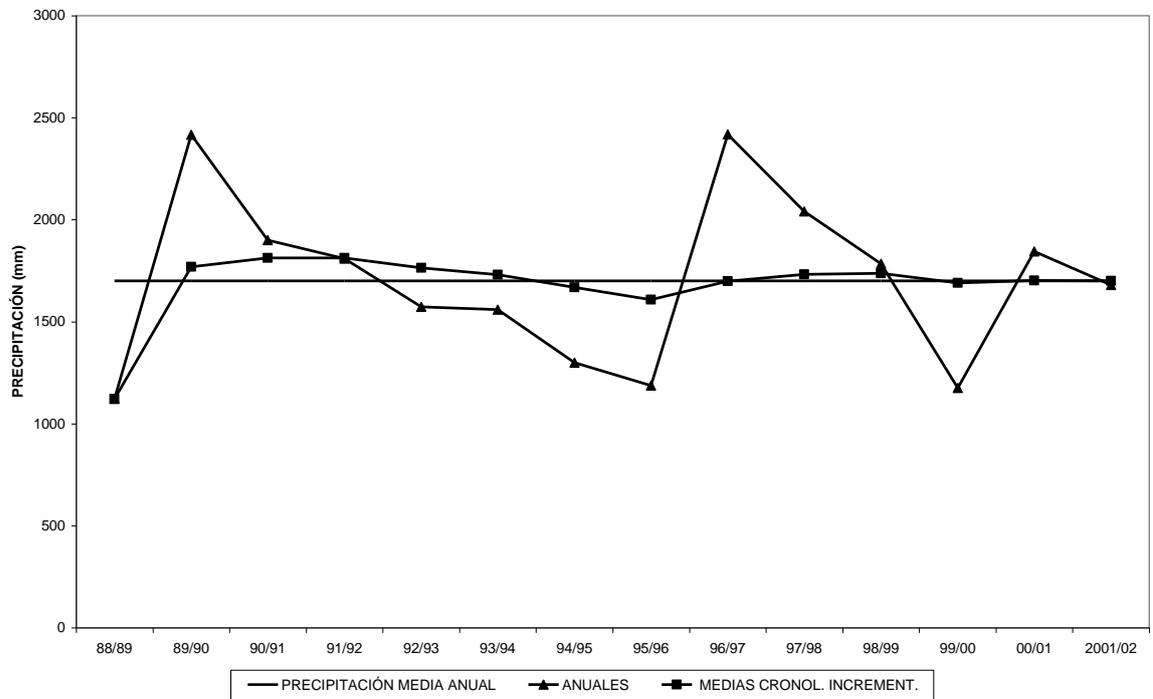


Figura 14. Precipitaciones anuales. Estación Itá Cajón - Serie 88/89-01/02.

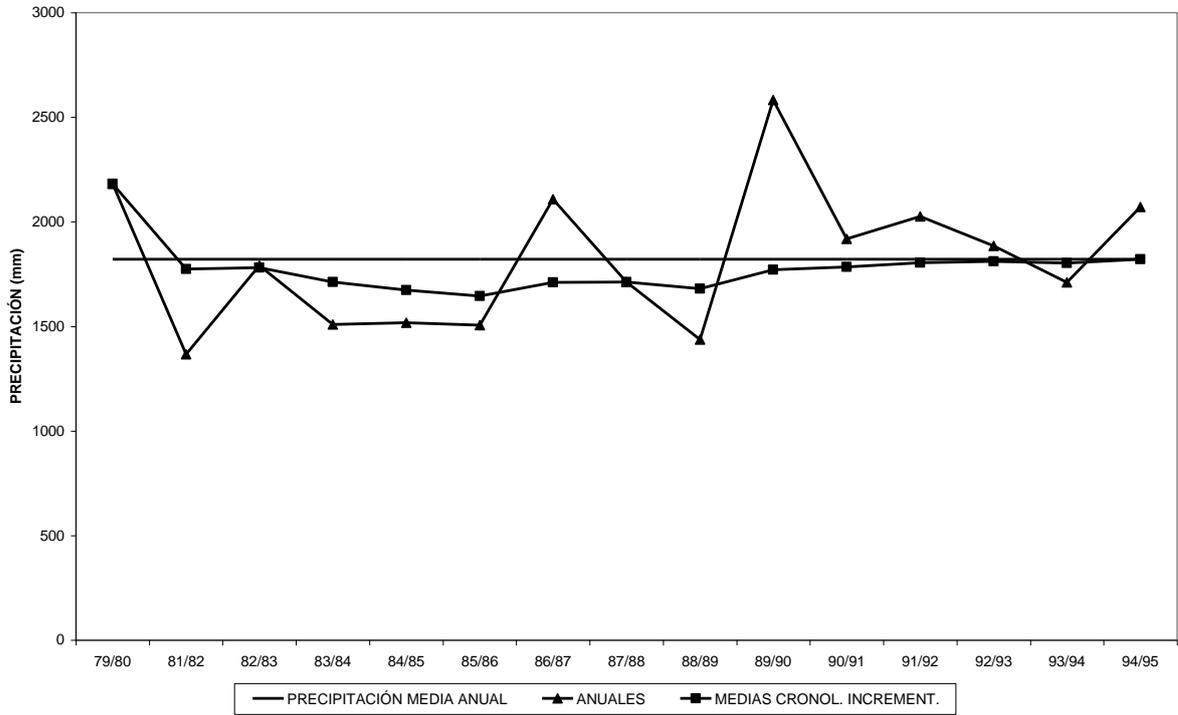


Figura 15. Precipitaciones anuales. Estación Colonia Wanda. Serie 79/80-94/95.

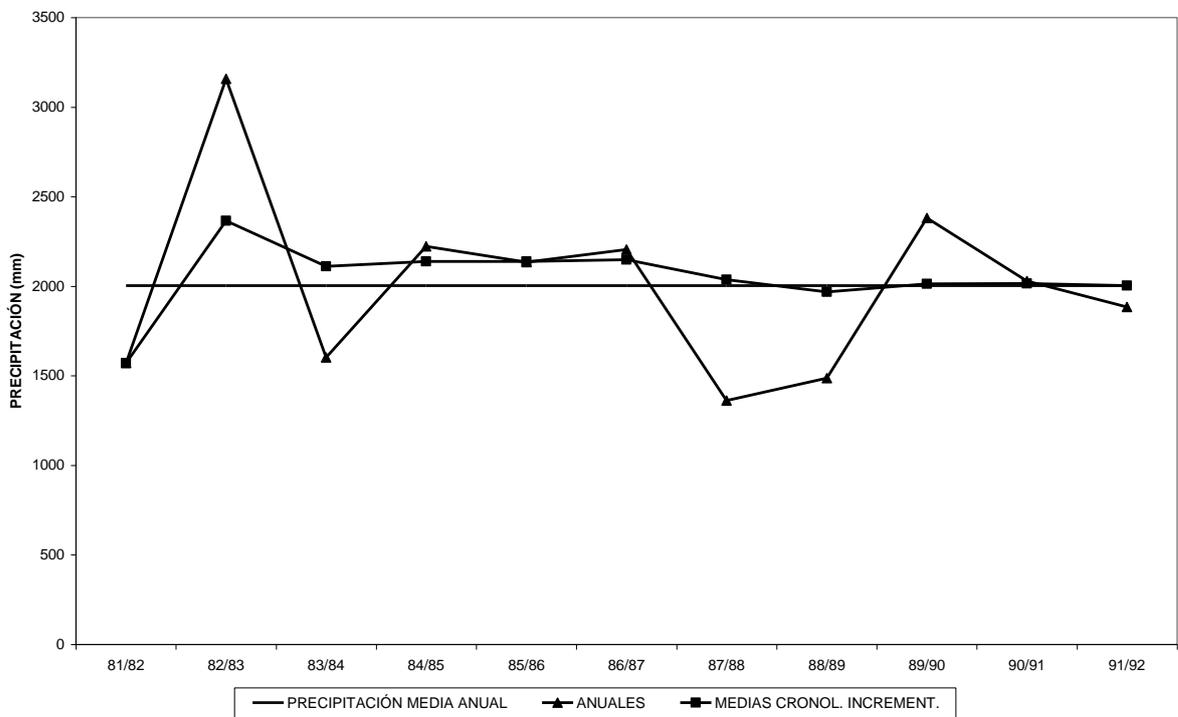


Figura 16. Precipitaciones anuales. Estación Santo Pipó Ñacanguazu. Serie 81/82-91/92.

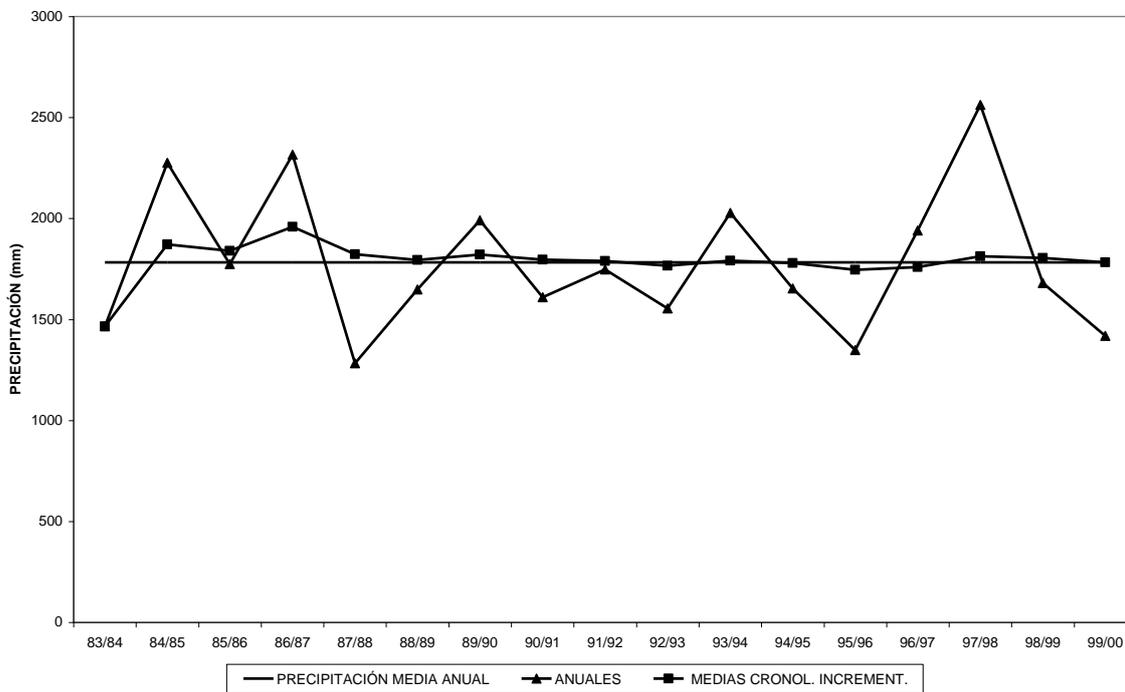


Figura 17. Precipitaciones anuales. Estación Ituzaingó - Serie 83/84-99/00.

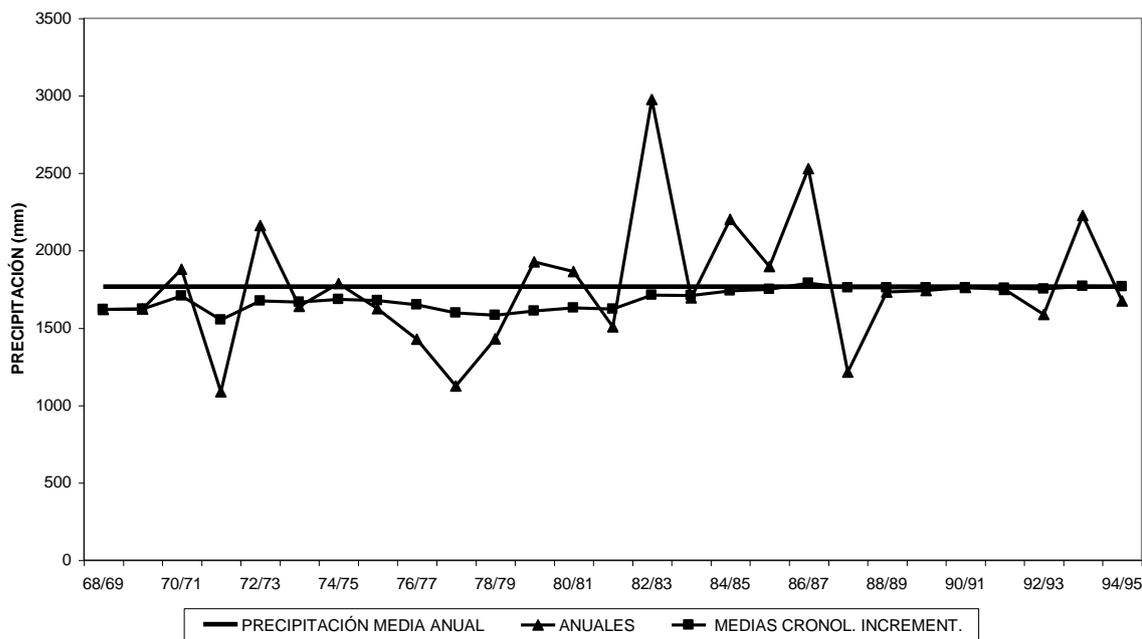


Figura 18. Precipitaciones anuales. Estación Posadas - Serie 68/69-94/95.

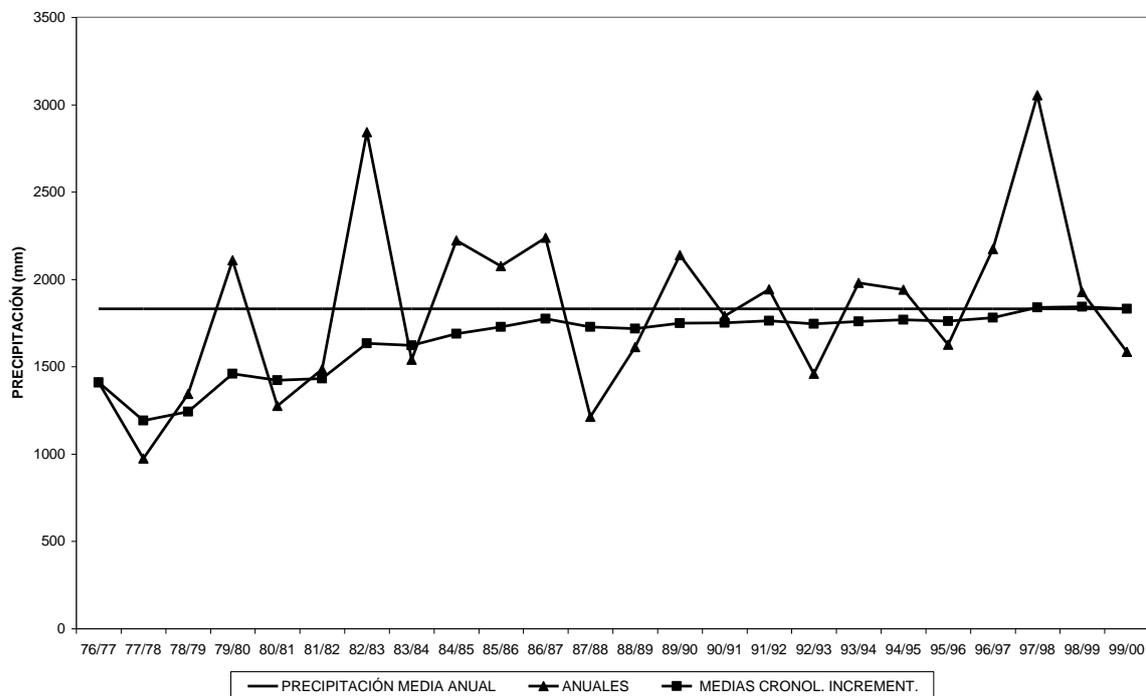


Figura 19. Precipitaciones anuales. Estación Capitán Miranda. Serie 76/77-99/00.

Las estaciones analizadas presentan una oscilación de los valores anuales alrededor de la media anual de la serie. En la mayoría de ellas, la curva de las medias cronológicas incrementales se desarrolla por debajo de la media anual del período, con tendencia a la estabilización de la media anual en los años iniciales de las series pluviométricas de mayor longitud.

Resultados del análisis del régimen de las precipitaciones a nivel mensual

Para completar la caracterización del régimen hidrológico de la región, se calcularon las precipitaciones medias mensuales, eligiendo para ello un período común de registro.

Dado que las estaciones se encuentran ubicadas a lo largo del río Paraná y existen distancias significativas entre ellas, a fin de realizar el cálculo de las

precipitaciones medias mensuales se agruparon las estaciones en tres zonas: Zona Norte, Zona Central y Zona Sur.

La Zona Norte incluye las estaciones Ita Cajón y Andresito, la Zona Central involucra las estaciones Montecarlo, Alcazar y Aristóbulo del Valle. Por su parte, la Zona Sur considera las estaciones Mártires, Cerro Azul, Capitán Miranda y Encarnación.

Las estaciones Villarrica y Caazapa no se incluyeron para este análisis porque se encuentran muy alejadas geográficamente de la región de estudio.

Las Figuras 20 a 22 ilustran las precipitaciones medias mensuales de cada una de las zonas consideradas. Se consideraron estaciones que contengan el último periodo húmedo de la serie y se descartaron algunas que acortaban la longitud de análisis.

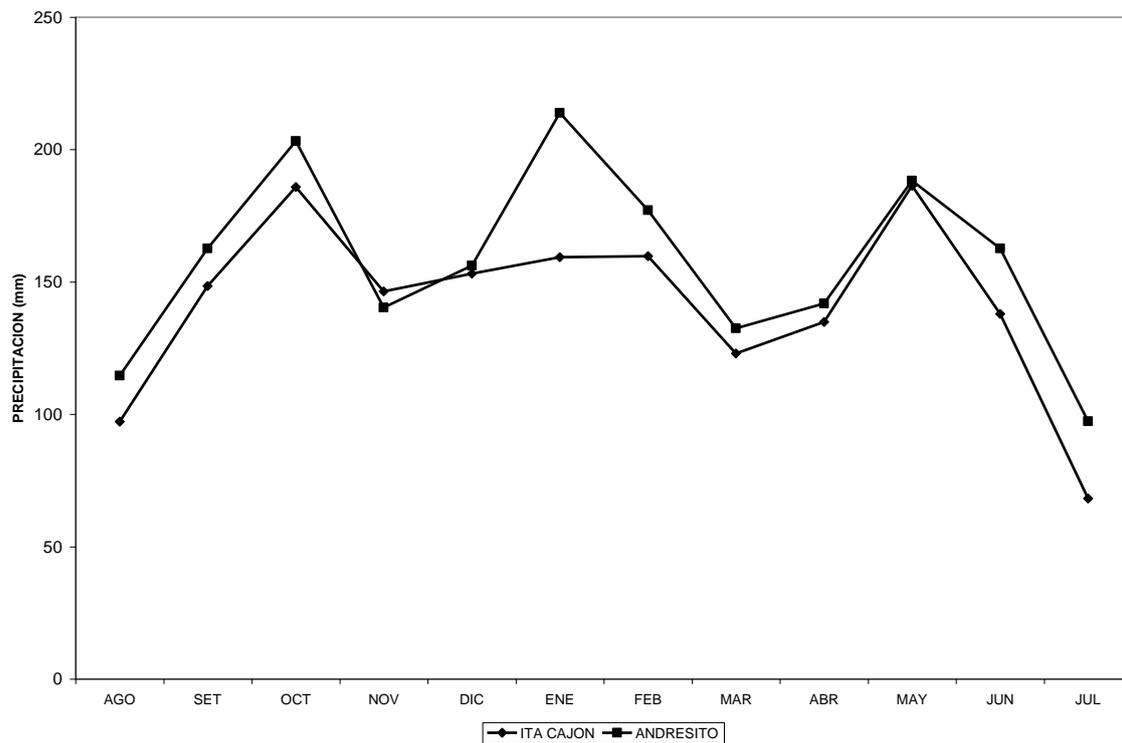


Figura 20. Precipitaciones medias mensuales – Cuencas Zona Norte. Serie 89/90-01/02.

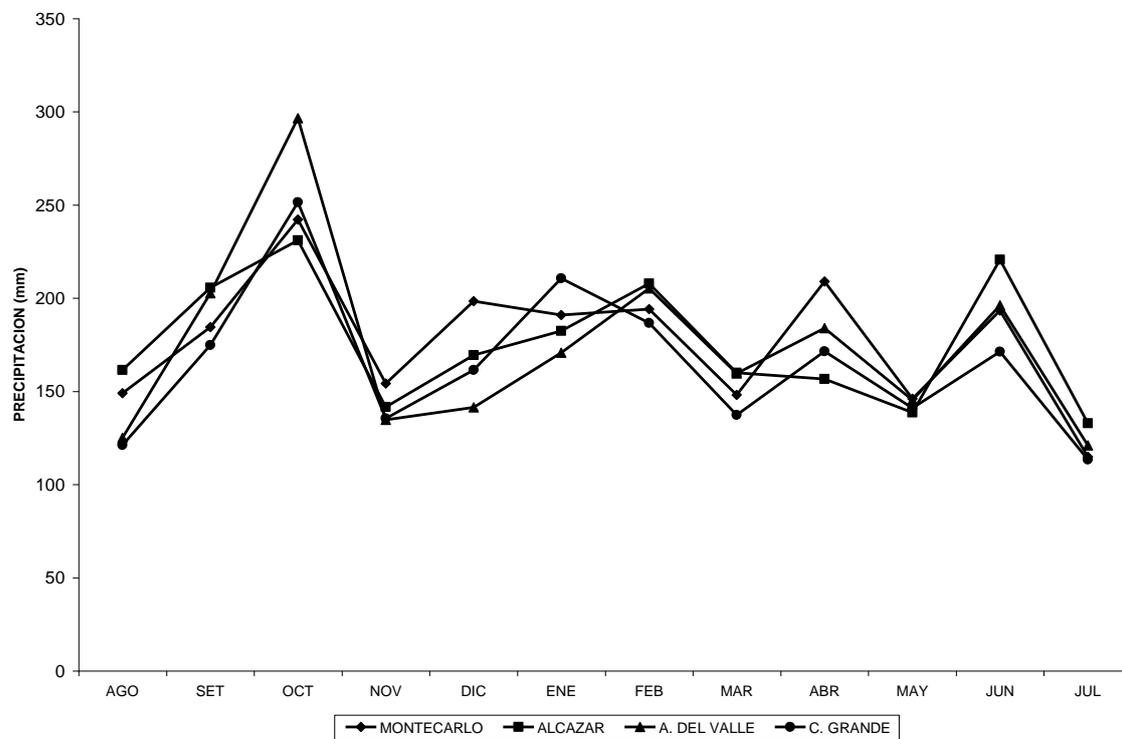


Figura 21. Precipitaciones medias mensuales. Cuencas Zona Central. Serie 89/90-99/00.

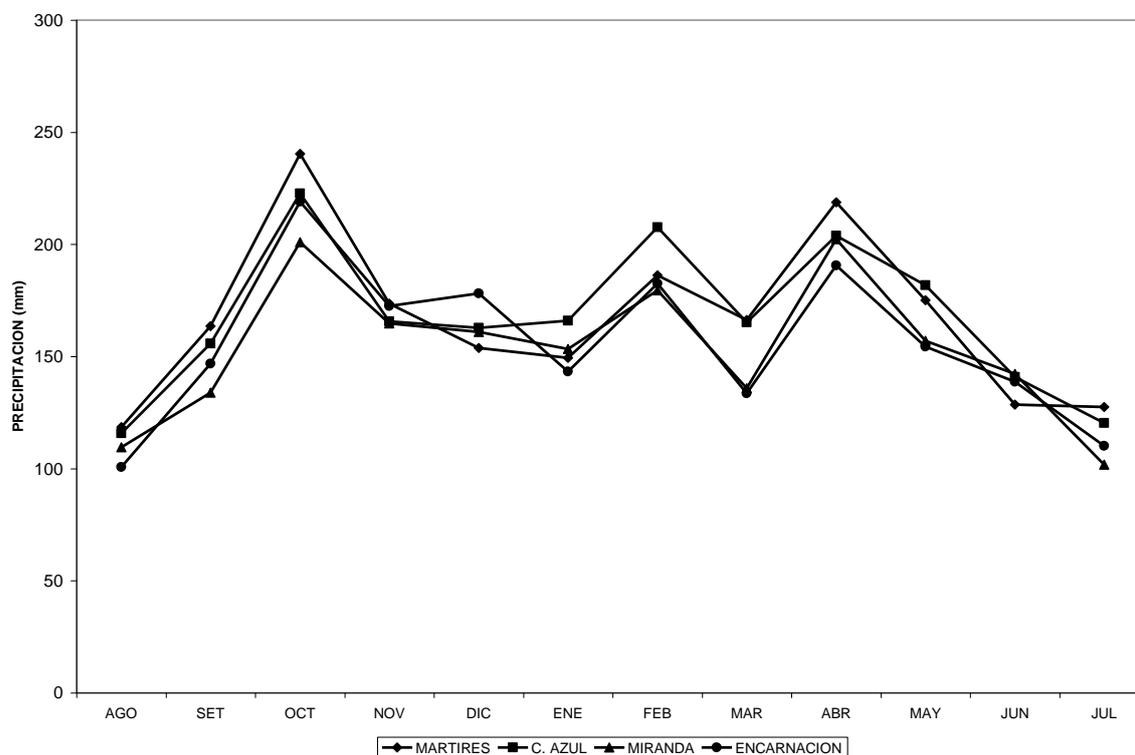


Figura 22. Precipitaciones medias mensuales – Cuencas Zona Sur. Serie 76/77-98/99.

La Tabla 5 presenta los índices característicos para las estaciones consideradas.

Tabla 5. Índices característicos.

	<i>Ita Cajón</i>	<i>Andre-sito</i>	<i>Mon-tecarlo</i>	<i>Alcaraz</i>	<i>Aristov. Valle</i>	<i>Cnia. Grande</i>	<i>Márti-res</i>	<i>Cnia. Azul</i>	<i>Capt. Miranda</i>	<i>Encar-nación</i>
IVER	0.28	0.29	0.27	0.27	0.25	0.29	0.24	0.267	0.268	0.269
IINV	0.18	0.20	0.22	0.24	0.21	0.21	0.19	0.188	0.192	0.187
IPRI	0.28	0.27	0.27	0.27	0.30	0.29	0.29	0.271	0.271	0.288
IOTO	0.26	0.24	0.24	0.22	0.23	0.23	0.28	0.274	0.269	0.256
ICONC	1.20	1.22	1.17	1.19	1.31	1.19	1.22	1.208	1.199	1.313
IMAX	1.42	1.33	1.32	1.36	1.12	1.56	1.73	1.590	1.660	1.690
IMIN	0.66	0.71	0.78	0.75	0.95	0.80	0.73	0.600	0.530	0.610

CONCLUSIONES

La precipitación media anual supera los 1000 mm en todas las estaciones.

La tendencia de las curvas cronológicas incrementales en la mayoría de las estaciones indica un aumento de las precipitaciones anuales analizadas y se evidencia la convergencia de las precipitaciones anuales al promedio anual de la serie.

La variación estacional de las precipitaciones medias a nivel anual y mensual muestra que las estaciones

poseen un régimen hidrológico homogéneo ya que tanto los ciclos anuales como la magnitud precipitada son semejantes en forma y magnitud, concepto sustentado cuantitativamente en los índices estacionales obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Centro Editor de América Latina. 1981. Atlas Físico de la República Argentina. Vol. 1 y 2.
 EVARSA. 2003. Banco de datos.
 Harza y Consorciados. 1984. Estudio hidrológico de

- la cuenca del Arroyo Aguapié. Informe Final.
- Litwin, C. J.; Molas Franco, P. 1987. Estudio Hidrológico e Hidráulico de tributarios del río Paraná en el tramo comprendido entre el río Iguazú y la sección Encarnación-Posadas. Comisión Mixta Argentino – Paraguaya del río Paraná. Informe Final. 245 pp.
- Paoli, C. y Bolzicco, J. 1992. Presentación y Tratamiento de Información Hidrometeorológica. Aspectos Generales y Particulares para datos pluviométricos. Publicación UNL. FICH (E+D) N° 01/92.
- Silber, M.; Zucarelli, G. V.; Morresi, M. 2000. Análisis de las precipitaciones en Posadas (Misiones). Seminario Internacional de Hidrología Operativa. Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande, República Argentina, República Oriental del Uruguay.
- Tucci, C. E. M. 1993. Hidrología: Ciencia y Aplicación. Editora da Universidades, FRS, Brasil. 943 pp.
- Zucarelli, G. V.; Morresi, M.; Hammerly, R. 1998. Pronóstico de la sedimentación en el brazo Añacuá mediante azudes sumergibles. Convenio entre el Ente Binacional Yaciretá y la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Julio-Agosto de 1998. Área Hidrología y Modelación Matemática. Informe Final.
- Artículo recibido el 04/2005 y aprobado para su publicación el 08/2007.*