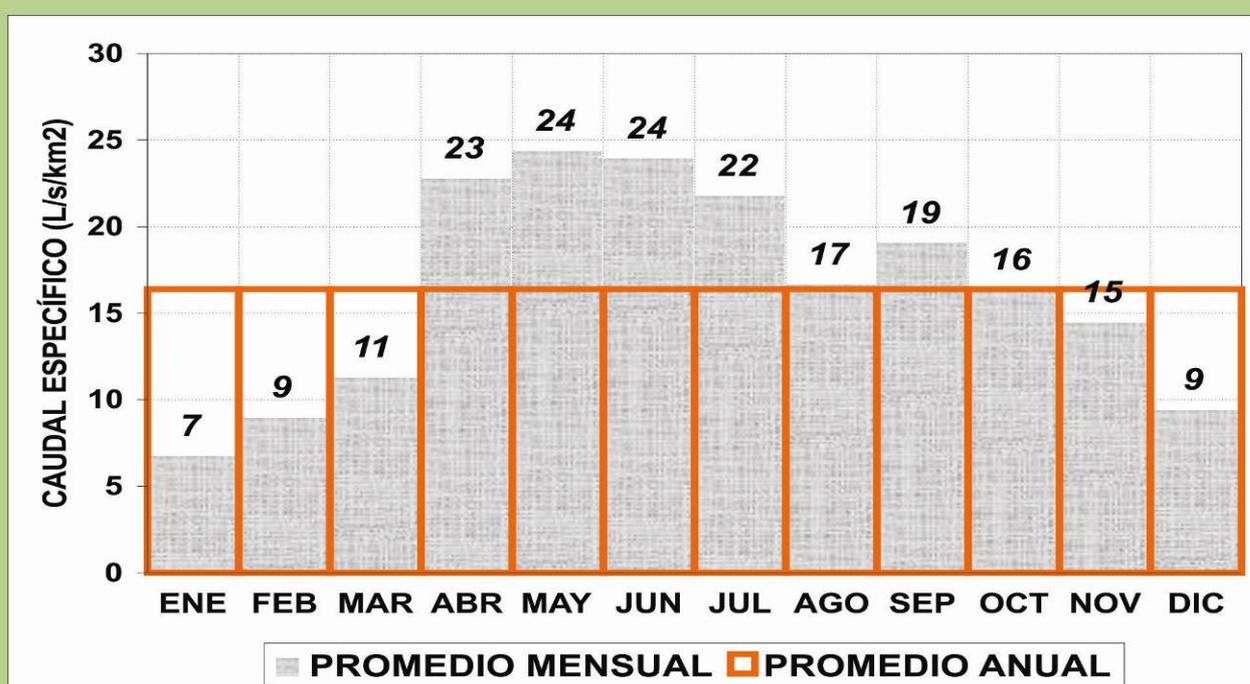


DIVISIÓN RECURSOS HÍDRICOS
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGÍA



CICLOS ANUALES Y ESTACIONALES
DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS
(1980 - 2004)

BANCO NACIONAL DE DATOS HIROLÓGICOS
 SISTEMA DE GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

AUTORIDADES

Arq. GRACIELA MUSLERA
MINISTRA DE VIVIENDA, ORDENAMIENTO TERRITORIAL
Y MEDIO AMBIENTE

Arq. RAQUEL LEJTREJER
SUBSECRETARIO

Dr. GERARDO SIRI
DIRECTOR GENERAL DE SECRETARÍA

Ing. DANIEL GONZÁLEZ
DIRECTOR NACIONAL DE AGUAS

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- INFORMACIÓN UTILIZADA	3
2.1.- Información hidrométrica	4
2.2.- Información meteorológica	6
2.3.- Información de capacidad de almacenamiento en suelos	7
3.- DEFINICIÓN DE LOS CICLOS ANUALES Y ESTACIONALES	9
3.1.- Ciclos anuales medios de precipitación	9
3.2.- Ciclos anuales medios de evapotranspiración potencial	10
3.3.- Ciclos anuales medios de escurrimientos	10
3.4.- Comentarios generales	10
4.- PROMEDIOS ESTACIONALES REGIONALIZADOS	14
5.- VARIACIÓN INTERANUAL.....	22
5.1.- Sucesión de años secos y húmedos	23
5.2.- Sucesión de veranos secos y húmedos	23
5.3.- Años extremos	23

PRESENTACIÓN

A partir de la entrada en vigencia de la Ley N° 18.172 del 31 de agosto de 2007 las competencias de la Dirección Nacional de Hidrografía del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (DNH-MTOP) en materia de evaluación, administración y control de los recursos hídricos fueron transferidas al Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, actualmente a cargo de su Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA-MVOTMA).

En dicha transferencia están incluidas las responsabilidades del Servicio Hidrológico Nacional y todos sus antecedentes documentales y de información hidrométrica, que abarcan varias décadas de observaciones y estudios hidrológicos.

Desde su anterior ubicación institucional en el MTOP los Departamentos de Administración de Aguas y de Hidrología de la División Recursos Hídricos (DRH) han elaborado las sucesivas ediciones de las publicaciones llamadas "Inventarios de Estaciones Hidrológicas", "Anuarios Hidrológicos" e "Inventarios de Aprovechamientos de Aguas Superficiales". Estas publicaciones son resultado directo de la existencia del "inventario actualizado de los recursos hídricos del país" previsto en el Art. 7 del Código de Aguas. Desde fines de la década del '90 dicho inventario se ha desarrollado en la órbita de la División Recursos Hídricos como un Sistema de Gestión de Recursos Hídricos (SGRH).

Este informe, junto con el titulado "Regionalización y correlaciones de parámetros hidrológicos" que se edita contemporáneamente, continúa una serie de informes temáticos del Departamento de Hidrología orientada a presentar en forma resumida y sistematizada la información hidrométrica contenida en el SGRH y algunas evaluaciones cuantitativas o cualitativas de los principales fenómenos hidrológicos ocurridos en el período.

Para la realización de estos informes ha sido fundamental la participación de los funcionarios del Departamento de Hidrología (Aytes. Juan C. Giacri, Jorge Coo, Loreley Castillo, Luis Machado y Roberto Sánchez) en las actividades de campo y de gabinete necesarias para la recolección, concentración y procesamiento primario de los datos de la red hidrométrica, así como la colaboración de las Oficinas Regionales en apoyo operativo. Pero sobre todo debe agradecerse la existencia de un banco de datos extenso y consolidado a lo largo de varias décadas, fruto de la visión y la dedicación de nuestros antecesores.

Montevideo, marzo de 2012

Ing. Roberto Torres
DIVISIÓN RECURSOS HÍDRICOS

Ing. Rodolfo Chao
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGÍA

1.- INTRODUCCIÓN

El "Glosario Hidrológico Internacional" (UNESCO – OMM)¹ define a los recursos hídricos de la siguiente manera:

*"Recursos de agua **disponibles** o potencialmente disponibles en cantidad y calidad **suficientes**, en un **lugar** y en un período de **tiempo** apropiados para satisfacer una **demanda** identificable."*

Desde esta perspectiva, el desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos requiere disponer de información confiable sobre el comportamiento de las fuentes de agua que se quieren utilizar: ubicación, cuantificación, variabilidad estacional e interanual. Por lo tanto se debe manejar un mínimo de parámetros estadísticos que ayuden a estimar la **disponibilidad** de las cantidades de agua necesarias en el tiempo y en el lugar en los que se las pretende utilizar, en relación a las **demandas** de los usos actuales o potenciales.

Desde temprano el aprovechamiento de los recursos hídricos y su estudio en el Uruguay han sido objeto de atención a impulso de las demandas prevalentes en cada época (navegación, drenaje de tierras inundables, generación hidroeléctrica, riego). En la década del '80 se produce un fuerte impulso, siguiendo los desarrollos a nivel mundial en la valoración de los conceptos de evaluación y gestión de los recursos hídricos.² Con el apoyo de organismos técnicos internacionales se encara el relevamiento sistemático de datos de niveles y caudales cubriendo una buena parte del territorio nacional y de manera independiente de los requerimientos de un tipo de demanda específica.³

La red de observaciones hidrométricas en los principales cursos de agua ha generado desde entonces un volumen de información que permite la realización de estudios hidrológicos tales como balances hídricos o la estimación de valores estadísticos regionalizados para los escurrimientos superficiales.

En particular, en convenio con la Facultad de Ingeniería (Universidad de la República) se han hecho balances hídricos superficiales mensuales para 16 cuencas del país utilizando información del Servicio Hidrológico y de la Dirección Nacional de Meteorología (período 1980 a 1999) y aplicando modelos conceptuales de precipitación - escurrimiento para determinar los ciclos anuales de caudal, precipitación y evapotranspiración real.⁴

¹ Versión internet en <http://hydrologie.org/glu/aglo.htm>

² Ley 14.859 del 15 de diciembre de 1978 ("Código de Aguas") Artículo 7º.- "El Ministerio competente llevará un inventario actualizado de los recursos hídricos del país, en el cual se registrará su ubicación, volumen, aforo, niveles, calidad, grado de aprovechamiento y demás datos técnicos pertinentes." (TÍTULO II: "Del inventario y apreciación de los recursos hídricos y del registro de los derechos al uso de aguas").

³ Proyecto URU/008/SCE/001-UNESCO, capítulo HIDROLOGÍA, Wilson, A.- CONADHI (1972-1973); Proyecto HIDROLOGÍA PARA EL DESARROLLO URU-87/007, MTOP-DNH-PNUD-OMM (1987-1990).

⁴ "Balance hídrico en el Uruguay" IMFIA-MTOP-UNESCO-PHI (dic. 2001).

Este trabajo actualiza parcialmente los resultados de aquel estudio incluyendo información disponible hasta el año 2004, aunque no está abordado estrictamente como un estudio de balances hídricos. Se presentarán en forma simplificada las principales características de los patrones multianuales del comportamiento mensual y estacional de los parámetros hidrológicos, con el objetivo de disponer de un método rápido para extrapolar la información disponible a subcuencas no aforadas con fines de gestión y planificación, como paso previo al desarrollo de modelos más detallados.

A manera descriptiva se incluyen en el capítulo final cuadros con la variación interanual de los desvíos respecto a los caudales medios para cada una de las estaciones hidrométricas consideradas para esta publicación, más otras estaciones con series menos extensas o menos representativas pero que igualmente ayudan a interpretar el alcance regional de los fenómenos analizados.

La información hidrométrica utilizada en este estudio ha sido elaborada a partir de datos del Banco Nacional de Datos Hidrométricos que, junto con el Inventario de Aprovechamientos de Recursos Hídricos, integra el Sistema de Gestión de Recursos Hídricos (SGRH) que viene utilizando la División Recursos Hídricos desde el año 2005.

Se ha utilizado además información proporcionada por la Dirección Nacional de Meteorología (MDN) y datos extraídos de publicaciones de la División Suelos y Aguas Dirección General de Recursos Naturales Renovables (DGRNR) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca para valorar la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos.

La presente publicación se complementa con otra preparada contemporáneamente por el Departamento de Hidrología⁵ que enfoca los aspectos de regionalización de las estadísticas hidrológicas y cuyos resultados son utilizados en este trabajo.

⁵ "Regionalización y correlaciones de parámetros hidrológicos" Depto. de Hidrología, DINAGUA-MVOTMA (mar. 2012)

2.- INFORMACIÓN UTILIZADA

Para evaluar y caracterizar los regímenes hidrológicos de cuencas de distintos tamaños y características se utilizan indistintamente los parámetros "caudal específico" (q) y "lámina de escurrimiento" (E).

El primero es el caudal medio del período considerado dividido por el área de la cuenca de aporte. Se expresa en unidades de $L/s/km^2$ y permite estimar a partir de datos estadísticos en una sección aforada, por proporcionalidad de áreas, la capacidad de aporte en la misma época del año en secciones no aforadas de la misma cuenca o en otras cercanas e hidrológicamente similares.

El segundo parámetro se calcula como el volumen total de escurrimiento en el período dividido por el área de la cuenca, expresado en milímetros. Esta segunda expresión admite compararse directamente con datos de precipitación o de evaporación que se producen en el mismo período de tiempo. En particular, permite definir el "coeficiente de escurrimiento" C como el cociente entre el escurrimiento E y la precipitación P en una misma cuenca y un mismo período, expresados ambos en milímetros ($C = E / P$).

Las relaciones entre la precipitación y el escurrimiento para una región en un mismo período dependen de otros factores, entre los que principalmente se encuentran el poder evaporante de la atmósfera (como demanda que reduce la disponibilidad de agua en la superficie expuesta) y la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos (como factor amortiguador de excesos y déficit).

El factor del agua almacenada en los suelos incide en el corto plazo justamente por su efecto amortiguador, pero bien puede considerarse constante para cada región estudiada en el largo período. Puede ayudar a explicar aproximadamente las diferencias en el comportamiento medio de dos regiones con similar régimen de precipitaciones y temperaturas.

La evapotranspiración, por su parte, variará dependiendo de una serie de factores climáticos entre los que predominan francamente las temperaturas. Por la practicidad en su determinación se utiliza normalmente la evapotranspiración potencial (ETP), una estimación de la evapotranspiración máxima esperable (suponiendo que no hay restricciones en el suministro de agua) en una ubicación geográfica dada en función de la temperatura media de cada día.

Estos tres parámetros básicos (precipitación, evapotranspiración potencial y escurrimiento), con su distribución estacional y regional y sus interrelaciones, son los que utilizan en este documento para caracterizar el régimen hidrológico.

El período de referencia estadística que se adoptó en todos los casos fue 1980 a 2004, en concordancia con los períodos de análisis considerados en otras publicaciones recientes del Departamento.⁶

⁶ "Valores mensuales 2005 vs. Ciclos anuales 1980 - 2004" y "Series mensuales normalizadas 1996 - 2005"; DNH-MTOP dic. 2006.

Los criterios de regionalización de los parámetros estudiados se basan en las características de almacenamiento del suelo siguiendo las conclusiones de la publicación ya citada del Departamento de Hidrología que abarca esta cuestión.

2.1.- Información hidrométrica

De la red de estaciones hidrométricas se seleccionó para este trabajo las que cuentan con series de caudales continuas, extensas y confiables dentro del período de referencia.

En la Figura 2.1 se ubican las estaciones hidrométricas utilizadas en el estudio y los respectivos límites de sus cuencas de aporte. Las cuencas aforadas cubren aproximadamente 81.300 km², un área equivalente al 45% del territorio nacional. Debe tenerse presente que de esa área unos 9.400 km² están en territorio brasileño (partes de las cuencas de los ríos Cuareim, Negro y Yaguarón).

La Tabla 1 resume la información de identificación de dichas estaciones, agrupadas según los criterios de regionalización desarrollados en el documento ya citado "*Regionalización y correlaciones de parámetros hidrológicos*". Los números de estación son los que identifican los datos presentados en los distintos gráficos y tablas del documento. (Ver además Figura 2.3.)

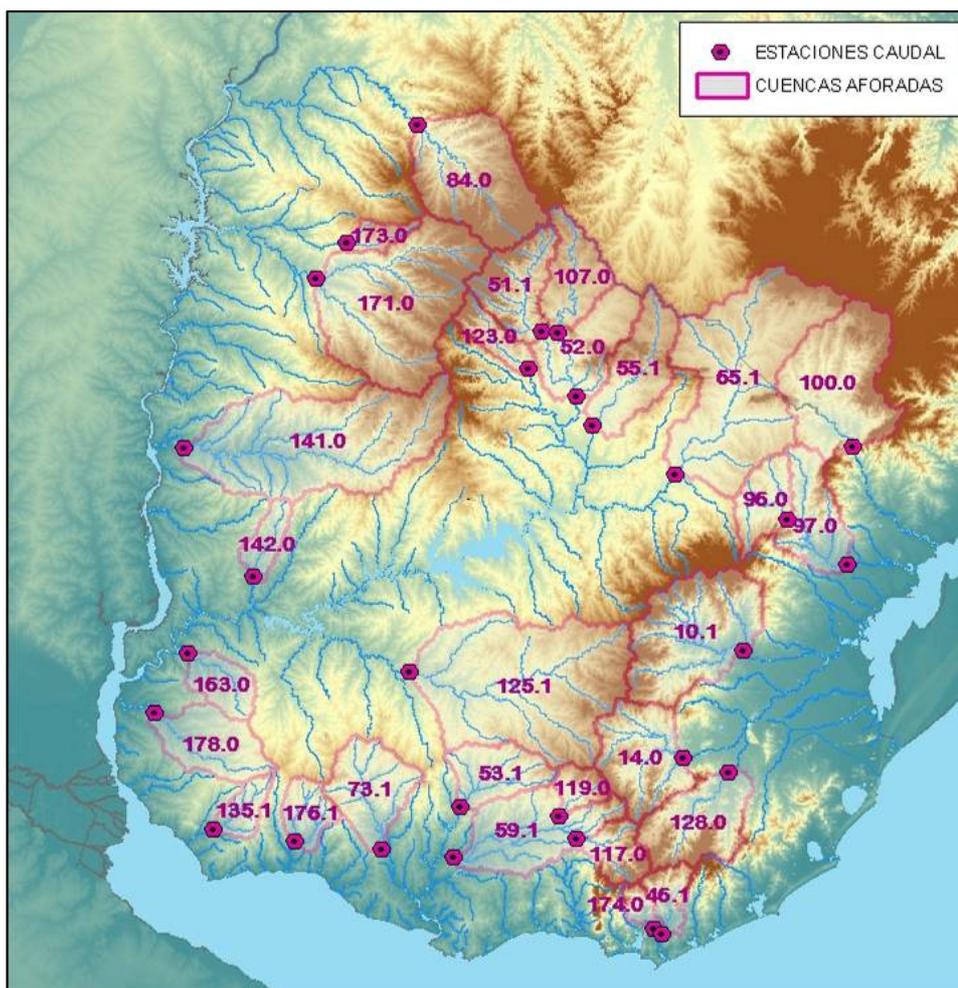


Fig. 2.1 – Estaciones de aforo y sus cuencas.

Fuente: SGRH (DINAGUA-MVOTMA)

TABLA 1 – Estaciones de aforo (SGRH/DINAGUA-MVOTMA)

REGIÓN	RÍO O ARROYO	No. Est.	AREA	
			CUENCA TOTAL (km2)	CUENCA INCREM. (km2)
LITORAL NORTE	Río Queguay	141.0	7863	7863
CENTRO NORTE	Río Cuareim	84.0	4486	4486
	Río Arapey	171.0	6932	6932
	Río Arapey Chico	173.0	519	519
NORESTE	Río Tacuarembó	51.1	2213	2213
	Río Tacuarembó	52.0	6599	2460
	Ao. Cuñapirú	107.0	1926	1926
	Ao. Tres Cruces	123.0	918	918
LITORAL SUR	Ao. Don Esteban	142.0	783	783
	Ao. Bequeló	163.0	1145	1145
	Río San Salvador	178.0	2157	2157
SUROESTE	Río San Juan	135.0	747	747
	Río Rosario	176.1	1001	1001
CENTRO SUR	Río Santa Lucía Ch.	53.1	1748	1748
	Río Santa Lucía	59.1	4916	3149
	Río San José	73.1	2314	2314
	Río Yí	125.1	8884	8884
CENTRO ESTE	Ao. Yaguarí	55.1	2489	2489
	Río Negro	65.1	8045	8045
	Río Tacuarí	96.0	1425	1425
	Río Tacuarí	97.0	3540	2115
	Río Yaguarón	100.0	4701	4701
ESTE	Río Olimar	10.1	4676	4676
	Río Cebollatí	14.0	2899	2899
	Ao. Aiguá	128.0	2748	2748
SURESTE	Ao. San Carlos	46.1	823	823
	Río Santa Lucía	117.0	1077	1077
	Ao. Casupá	119.0	690	690
	Ao. Maldonado	174.0	364	364

2.2.- Información meteorológica

La Dirección Nacional de Meteorología del Uruguay (DNM - MDN) es la institución que gestiona la información meteorológica de carácter oficial en todo el territorio nacional. Para este estudio se utilizó información suministrada por la DNM (totales mensuales de precipitación y evapotranspiración potencial mensual según Thornthwaite) correspondiente al período de referencia 1980 – 2004. La información fue utilizada tal como fue suministrada, sin revisión de consistencia.

La Figura 2.2 muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio. En la Tabla 2 se resumen los datos de identificación de las estaciones meteorológicas consideradas y la información utilizada en cada una de ellas (temperatura y/o precipitación).

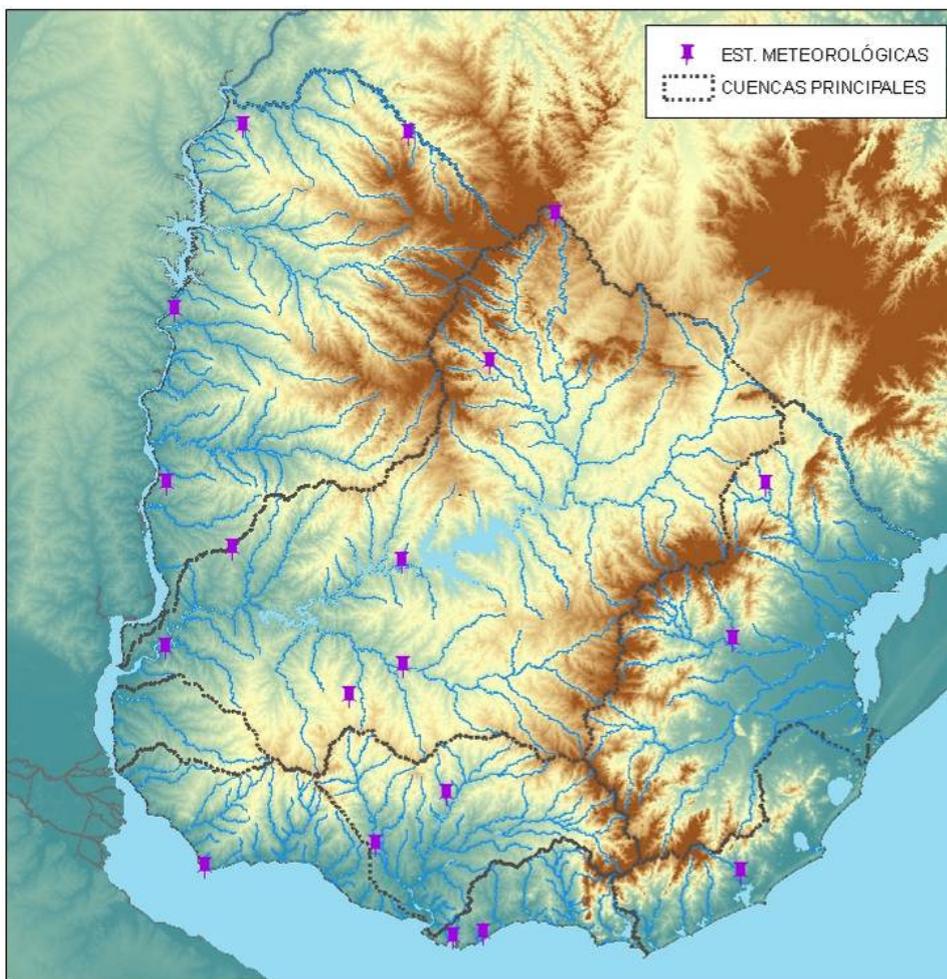


Fig. 2.2 – Estaciones meteorológicas.

Fuente: Elaboración sobre datos de DNM-MDN

TABLA 2 – Estaciones Meteorológicas (DNM – MDN)

CÓDIGO	ESTACIÓN	LAT (S)	LONG (O)	DATOS UTILIZADOS
86315	BELLA UNION	30° 20'	57° 58'	PREC, --
86330	ARTIGAS	30° 45'	56° 47'	PREC, TEMP
86350	RIVERA	30° 91'	55° 55'	PREC, TEMP
86360	SALTO	31° 45'	57° 98'	PREC, TEMP
86370	TACUAREMBO	31° 70'	55° 96'	PREC, TEMP
86430	PAYSANDU	32° 33'	58° 08'	PREC, TEMP
86440	MELO	32° 37'	54° 18'	PREC, TEMP
86450	YOUNG	32° 71'	57° 62'	PREC, TEMP
86460	PASO DE LOS TOROS	32° 82'	56° 50'	PREC, TEMP
86490	MERCEDES	33° 25'	58° 07'	PREC, TEMP
86500	TREINTA Y TRES	33° 38'	54° 63'	PREC, TEMP
86530	DURAZNO	33° 37'	56° 53'	PREC, TEMP
86532	TRINIDAD	33° 53'	56° 88'	PREC, --
86545	FLORIDA	34° 07'	56° 25'	PREC, TEMP
86550	SAN JOSE	34° 35'	56° 72'	PREC, --
86560	COLONIA	34° 47'	57° 85'	PREC, TEMP
86565	ROCHA	34° 48'	54° 33'	PREC, TEMP
86580	CARRASCO	34° 85'	56° 02'	PREC, TEMP
86585	PRADO	34° 87'	56° 20'	PREC, --

2.3.- Información de capacidad de almacenamiento en suelos

En el año 2001 la División Suelos y Aguas Dirección General de Recursos Naturales Renovables (DGRNR) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca publicó el informe⁷ estimando el potencial de almacenamiento de agua disponible neta (**APDN**) de las respectivas Unidades Cartográficas (noventa y nueve Asociaciones de Suelos), calculado como la diferencia entre la capacidad de campo (**CC**) y el punto de marchitez permanente (**CMP**).

En la Figura 2.3 se muestra la propuesta de regionalización de cuencas considerando la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos que se ha presentado en la publicación ya citada del Departamento de Hidrología. Se indican sobre el mapa los valores promedio de **APDN** en cada cuenca en particular y en la tabla adjunta los promedios ponderados calculados para cada región propuesta. Las áreas utilizadas en cada caso corresponden a las porciones de cuenca en territorio uruguayo. Las cuencas, en cambio, se representan en toda su extensión.

⁷ "AGUA DISPONIBLE DE LAS TIERRAS DEL URUGUAY - SEGUNDA APROXIMACIÓN"; División Suelos y Aguas - Dirección General de Recursos Naturales Renovables (MGAP) - J.H. Molfino; A. Califra Mayo, 2001

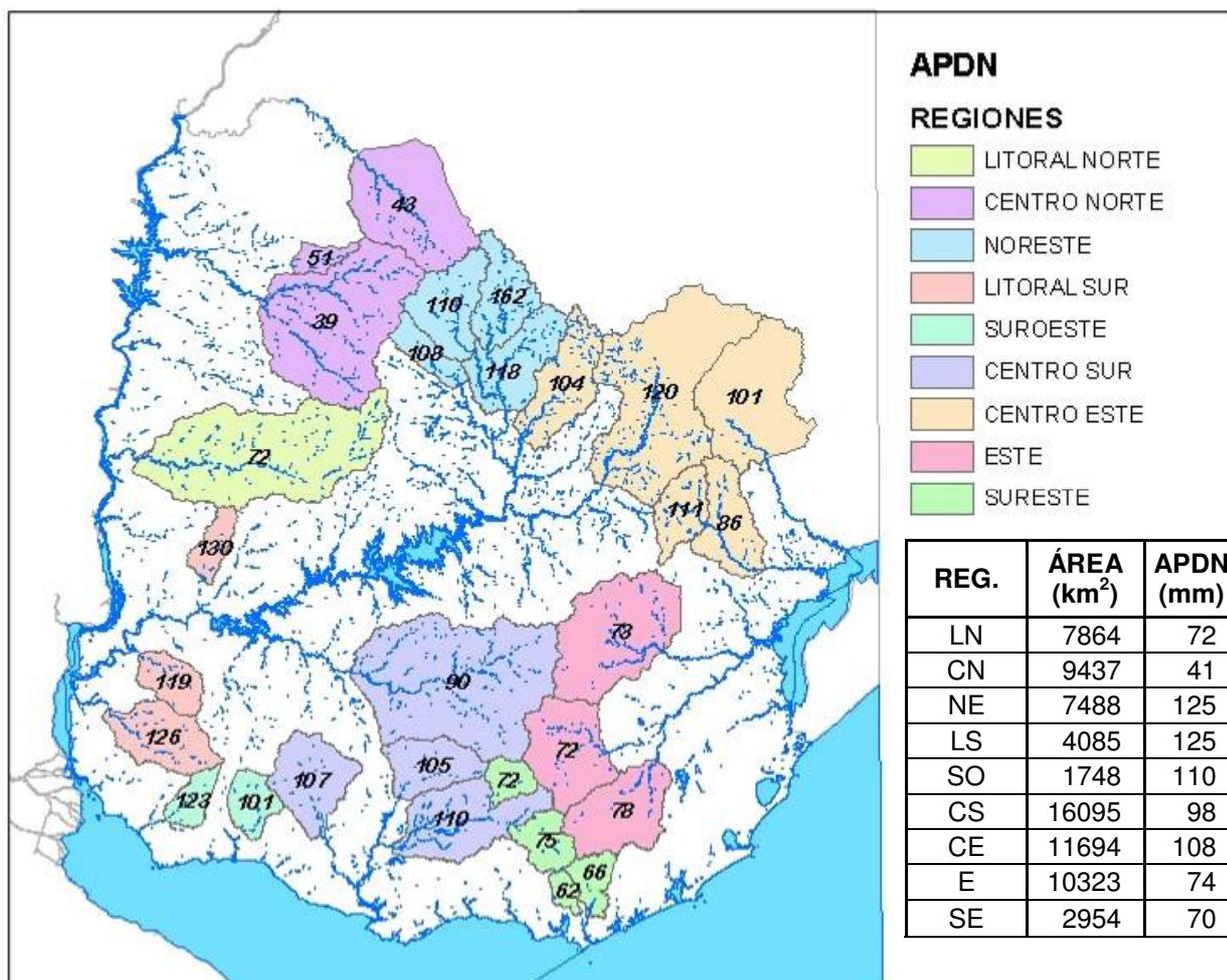


Fig. 2.3 – Regionalización de cuencas aforadas según APDN.

Fuente: Elaboración sobre datos de DGRNR-MGAP

3.- DEFINICIÓN DE LOS CICLOS ANUALES Y ESTACIONALES

En el análisis cualitativo de los parámetros hidrometeorológicos que se presenta en los gráficos siguientes, cada mes del año se marca según que su valor promedio histórico sea mayor (+) o menor (-) que el respectivo promedio anual, con lo que se pueden identificar los períodos "húmedos" y "secos" de cada estación. Se identifican además los meses en los que se registraron los promedios máximos (++) y los mínimos (--) de las respectivas series históricas en el período de referencia.

Como se muestra en los párrafos siguientes, el comportamiento de cada uno de los parámetros analizados presenta características similares en todas las regiones consideradas, aunque los valores estadísticos difieren de un punto a otro.

Esta regularidad en el comportamiento de los parámetros en el largo período permite determinar un "ciclo medio anual" sintético para cada parámetro en todo el país, calculando para cada mes del año un promedio ponderado por las áreas asignadas a cada estación de medición (polígonos de Thiessen para precipitación y evapotranspiración potencial, áreas de cuenca incrementales para los escurrimientos).

Por razones que se justifican en el párrafo 3.3, se han elegido como períodos de estacionalización los cuatrimestres abril-julio, agosto-noviembre y diciembre-marzo.

3.1.- Ciclos anuales medios de precipitación

En la Figura 3.1 se presentan los ciclos anuales medios de precipitación. De cada estación se indican los valores medios anuales de precipitación y el área del polígono de Thiessen asociado.

El promedio anual de todo el país es de **113 mm/mes**, con una tendencia general decreciente de noreste a suroeste (entre 130 y 97 mm/mes).

La tendencia general observada en todo el país es que, con relación al promedio anual en cada estación, los meses de junio a setiembre conforman el período menos lluvioso y el resto del año es más lluvioso, con una brecha de menores precipitaciones entre diciembre y enero.

Al pie de la figura se incluye un gráfico que sintetiza el "ciclo anual medio" de precipitaciones para todo el país.

Para los cuatrimestres elegidos los promedios de precipitación no presentan una variación estacional significativa (+/- 6% respecto al promedio), con la particularidad de que el promedio del cuatrimestre abril - julio resulta exactamente igual al promedio anual y que el cuatrimestre promedialmente más lluvioso resulta ser el de verano.

3.2.- Ciclos anuales medios de evapotranspiración potencial

La Figura 3.2 presenta el mismo análisis sobre los promedios mensuales de evapotranspiración potencial (Thornthwaite).

En este caso los comportamientos son prácticamente iguales en todas las estaciones de observación. Los valores superiores al promedio anual se registran sistemáticamente de noviembre hasta marzo o abril.

El "ciclo anual medio" de evapotranspiración potencial para todo el país, sintetizado en el gráfico al pie de la Figura 3.2, tiene como promedio **68 mm/mes**. Sólo en el cuatrimestre diciembre - marzo se concentra el 51% del total anual de evapotranspiración potencial. También para este parámetro se aprecia una tendencia general decreciente, en este caso de noroeste a sureste (entre 74 y 63 mm/mes).

3.3.- Ciclos anuales medios de escurrimientos

En la Figura 3.3 se indica para cada estación hidrométrica seleccionada el área de la cuenca de aporte y el promedio anual de caudales (m^3/s).

El "ciclo anual medio" de las cuencas aforadas de todo el país, mostrado en el gráfico al pie de la Figura 3.3, indica valores medios de **16,4 L/s/km²**, que equivalen a **43 mm/mes**.

Este parámetro presenta tres cuatrimestres notoriamente diferenciados que se manifiestan de manera similar en todas las regiones del país. El promedio del cuatrimestre agosto-noviembre es prácticamente equivalente al promedio anual y los otros cuatrimestres presentan desvíos del orden de +/-45% en torno al promedio anual.

3.4.- Comentarios generales

Se ha indicado que el área cubierta por las estaciones de medición de caudales representa apenas un 45% del total del territorio. En el resto, una porción muy importante ve afectado su régimen natural por el efecto de grandes embalses (hidroeléctricos sobre el río Negro, de almacenamiento para potabilización en el río Santa Lucía o riego en el Ao. India Muerta) y otra parte ha sido fuertemente alterada por obras de regulación y drenaje (por ejemplo en los Bañados de Rocha). La extrapolación de los resultados obtenidos en las cuencas aforadas a otras regiones debe hacerse por tanto con extrema precaución.

El "año hidrológico" para los estudios de los capítulos siguientes se consideró iniciando en abril para todo el país, ya que es el mes en el que mayoritariamente empiezan a registrarse escurrimientos superiores al promedio anual (Fig. 3.3).

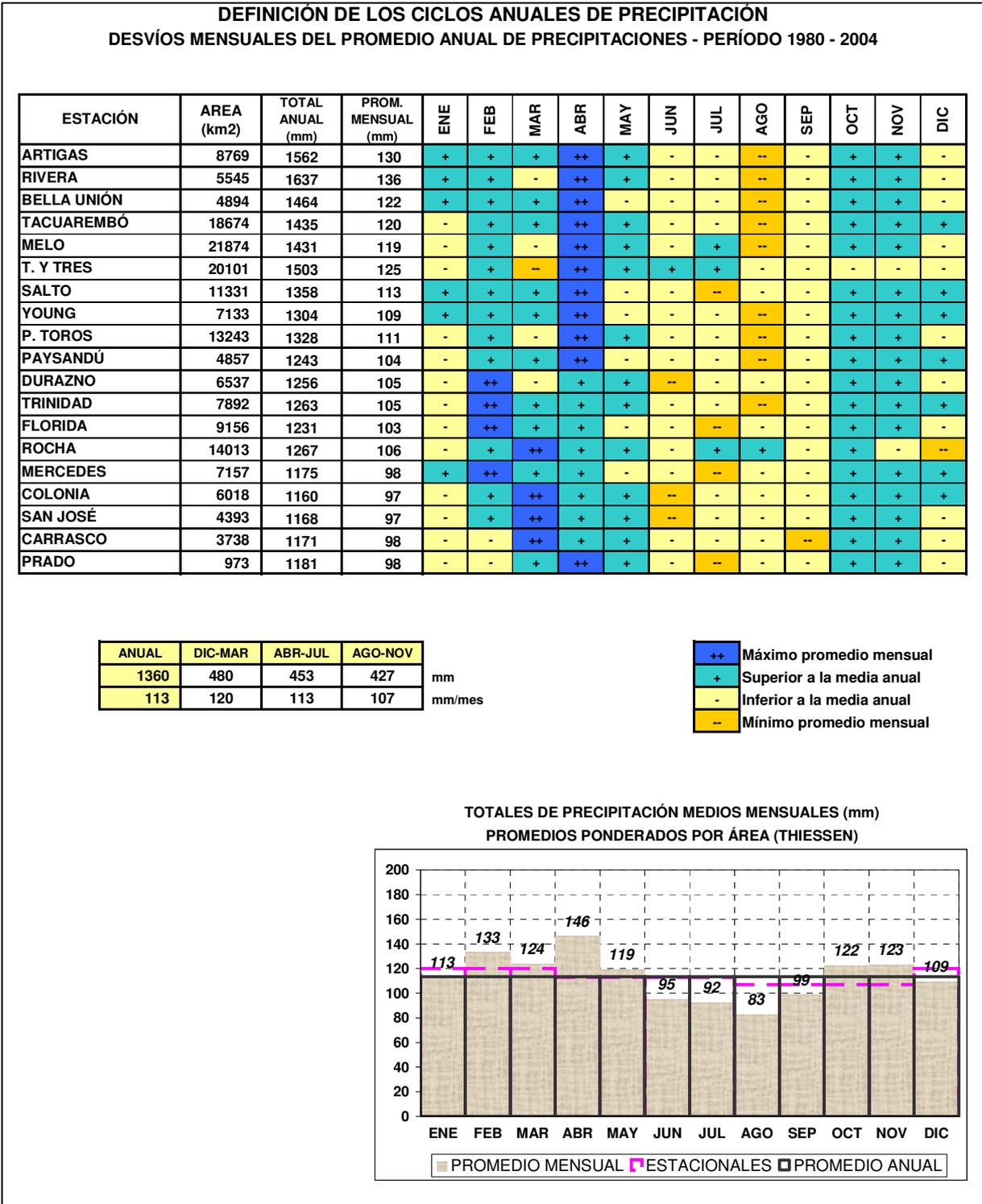


Fig. 3.1 – Ciclos anuales de precipitación.

Fuente: Elaboración sobre datos de DNM-MDN

**DEFINICIÓN DE LOS CICLOS ANUALES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL
DESVIOS MENSUALES DEL PROMEDIO ANUAL DE ETP (THORNTHWAITE) - PERÍODO 1980 - 2004**

ESTACIÓN	ÁREA (km2)	TOTAL ANUAL (mm)	PROM. MENSUAL (mm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Artigas	11581	890	74	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Salto	13413	893	74	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Rivera	5545	852	71	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Paysandú	4857	839	70	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Tacuarembó	20101	811	68	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Paso de los Toros	13125	822	69	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Young	7724	826	69	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Mercedes	8821	807	67	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Melo	18674	802	67	++	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+
Treinta y Tres	21324	795	66	++	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+
Colonia	6491	793	66	++	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+
Durazno	10915	781	65	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Florida	14154	769	64	++	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+
Rocha	14013	755	63	++	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+
Carrasco	5560	757	63	++	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+

ANUAL	DIC-MAR	ABR-JUL	AGO-NOV
811	413	174	224
68	103	44	56

mm
mm/mes

++ Máximo promedio mensual
+ Superior a la media anual
- Inferior a la media anual
- Mínimo promedio mensual

PROMEDIOS MENSUALES ETP (mm)
PROMEDIOS PONDERADOS POR ÁREA (THIESSEN)

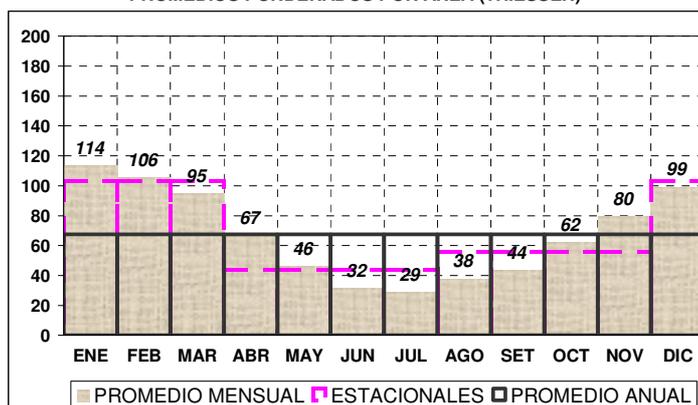


Fig. 3.2 – Ciclos anuales de evapotranspiración potencial.

Fuente: Elaboración sobre datos de DNM-MDN

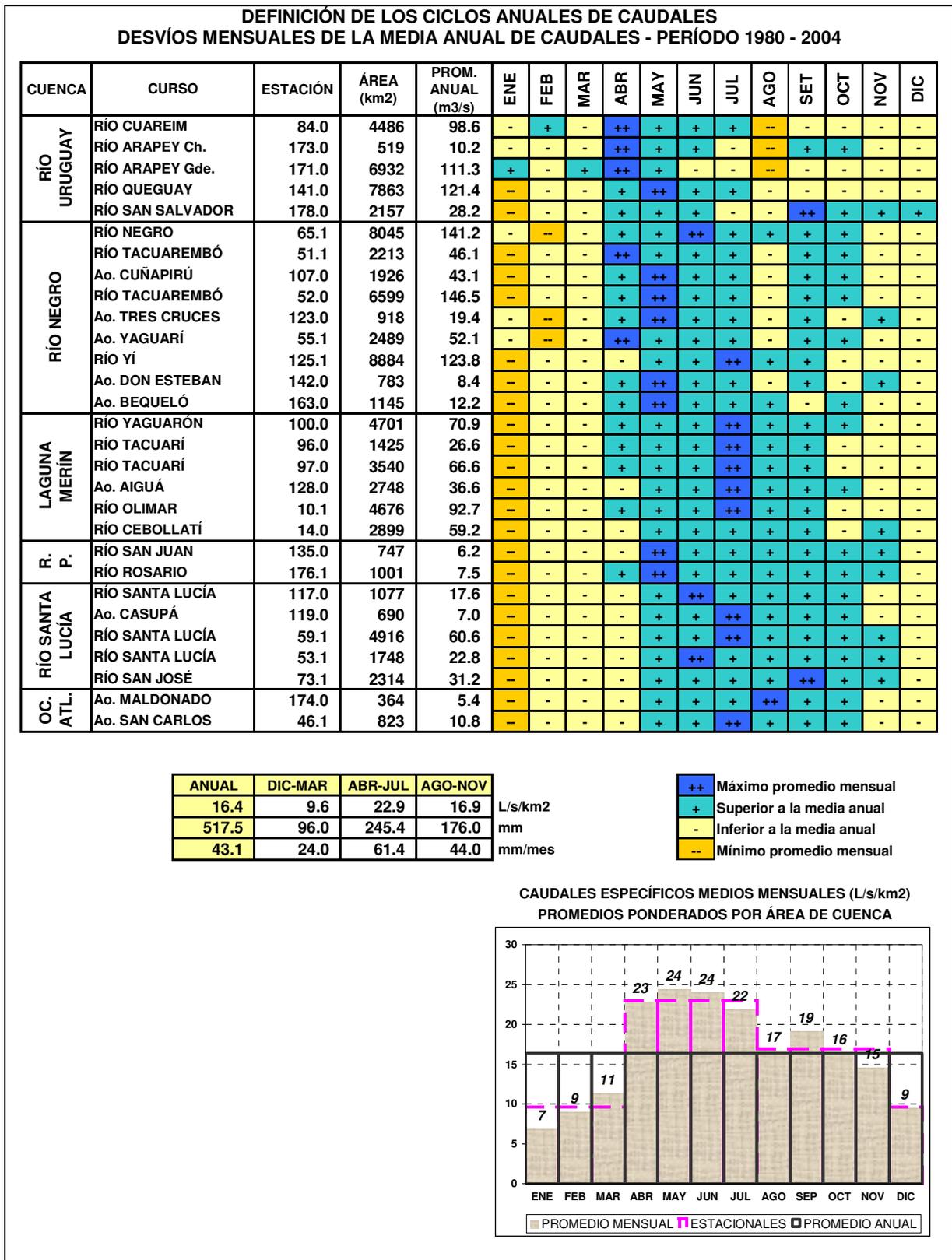


Fig. 3.3 – Ciclos anuales de caudales.

Fuente: SGRH (DINAGUA-MVOTMA)

4.- PROMEDIOS ESTACIONALES REGIONALIZADOS

La información presentada en el capítulo anterior fue reorganizada desde la perspectiva de los períodos estacionales definidos y de la regionalización propuesta en la publicación ya citada del Departamento de Hidrología "*Regionalización y correlaciones de parámetros hidrológicos*" según los valores de agua potencialmente disponible neta (**APDN**) de los suelos presentes. (Ver Figura 4.1)

Se generaron las series mensuales de precipitación y evapotranspiración potencial para cada una de las cuencas aforadas (interpolación por polígonos de Thiessen de los datos originales de la DNM, intersectados por los contornos de las cuencas). Por ello en este capítulo los valores promediales de **P**, **ETP** y **E** pueden presentar algunas diferencias con los valores del capítulo anterior.

En cada cuenca aforada se calculó mes a mes y por cuatrimestres los siguientes parámetros:

- totales acumulados de precipitación: **P** (mm/mes)
- totales acumulados de evapotranspiración potencial según Thornthwaite: **ETP** (mm/mes)
- diferencias entre los acumulados de precipitación y de evapotranspiración potencial ("excedente de precipitación"): **P - ETP** (mm/mes)
- lámina de escurrimiento: **E** (mm/mes)
- coeficientes de escurrimiento: **C = E/P**
- promedios generales de todos los parámetros por cada mes y cada cuatrimestre en el período

Para determinar los promedios de los cuatrimestres se consideraron solamente períodos con al menos dos meses de caudales registrados. Los valores de los coeficientes **C** son promedios de los coeficientes calculados en cada subperíodo y no los cocientes de los respectivos promedios de **P** y **E**.

Posteriormente, los valores de cada cuenca se agruparon según las regiones que se identificaron en la Tabla 1 (Cap. 2). En la Tabla 3 se resumen los valores anuales y cuatrimestrales regionalizados resultantes de este procedimiento.

Las Figs. 4.1 a 4.3 representan los ciclos medios anuales y el promedio de escurrimientos cuatrimestrales en cada región. En base a las conclusiones del Capítulo 3, los ciclos anuales se representan iniciando en abril.

En estas gráficas se aprecia que en todas las regiones consideradas la evolución del ciclo promedio de las diferencias entre la precipitación y la evapotranspiración (asimilable a un "excedente de precipitación" potencialmente disponible para escurrimiento) acompaña el ciclo calculado de los escurrimientos medios. Igualmente reproduce la estacionalidad por períodos cuatrimestrales, con los meses de diciembre a marzo por debajo del promedio, agosto a noviembre en el entorno del promedio anual, y abril a noviembre con valores iguales o superiores.

TABLA 3 – Resumen de valores estacionales regionalizados para las cuencas aforadas. - Promedios

(Período de referencia 1980-2004)

REGION	P (mm/mes)				ETP (mm/mes)			
	ANUAL	ABR- JUL	AGO- NOV	DIC- MAR	ANUAL	ABR- JUL	AGO- NOV	DIC- MAR
LITORAL NORTE	114	113	103	126	70	43	58	107
CENTRO NORTE	121	128	102	134	71	45	60	109
NORESTE	131	133	119	140	69	44	58	105
LITORAL SUR	103	87	94	127	67	41	55	105
SUROESTE	97	88	93	109	66	43	55	100
CENTRO SUR	106	108	104	107	65	42	53	99
CENTRO ESTE	121	131	116	117	67	44	56	102
ESTE	118	126	109	120	65	43	54	99
SURESTE	106	112	103	102	63	43	52	94
PROMEDIO:	116	120	108	121	67	43	56	103

REGION	E (mm/mes)				P-ETP (mm/mes)			
	ANUAL	ABR- JUL	AGO- NOV	DIC- MAR	ANUAL	ABR- JUL	AGO- NOV	DIC- MAR
LITORAL NORTE	40	61	36	24	44	70	45	19
CENTRO NORTE	46	73	35	30	50	83	42	24
NORESTE	56	76	56	35	61	88	61	35
LITORAL SUR	32	37	32	26	36	46	39	22
SUROESTE	20	24	23	13	31	45	39	9
CENTRO SUR	36	49	41	17	41	65	51	8
CENTRO ESTE	45	67	48	21	54	87	60	15
ESTE	49	63	57	26	53	83	55	20
SURESTE	37	48	45	17	42	69	51	8
PROMEDIO:	43	61	44	24	49	76	52	18

REGION	C				E - (P - ETP) (mm/mes)			
	ANUAL	ABR- JUL	AGO- NOV	DIC- MAR	ANUAL	ABR- JUL	AGO- NOV	DIC- MAR
LITORAL NORTE	0.35	0.49	0.32	0.16	-4	-9	-9	6
CENTRO NORTE	0.38	0.52	0.33	0.20	-4	-9	-7	6
NORESTE	0.43	0.54	0.45	0.20	-6	-12	-5	-1
LITORAL SUR	0.31	0.40	0.33	0.19	-4	-9	-6	4
SUROESTE	0.21	0.26	0.23	0.10	-11	-21	-16	3
CENTRO SUR	0.34	0.41	0.37	0.13	-6	-16	-10	9
CENTRO ESTE	0.37	0.47	0.40	0.15	-9	-20	-12	6
ESTE	0.41	0.46	0.51	0.18	-4	-20	2	6
SURESTE	0.35	0.40	0.41	0.15	-6	-21	-6	9
PROMEDIO:	0.37	0.46	0.39	0.16	-6	-15	-8	6

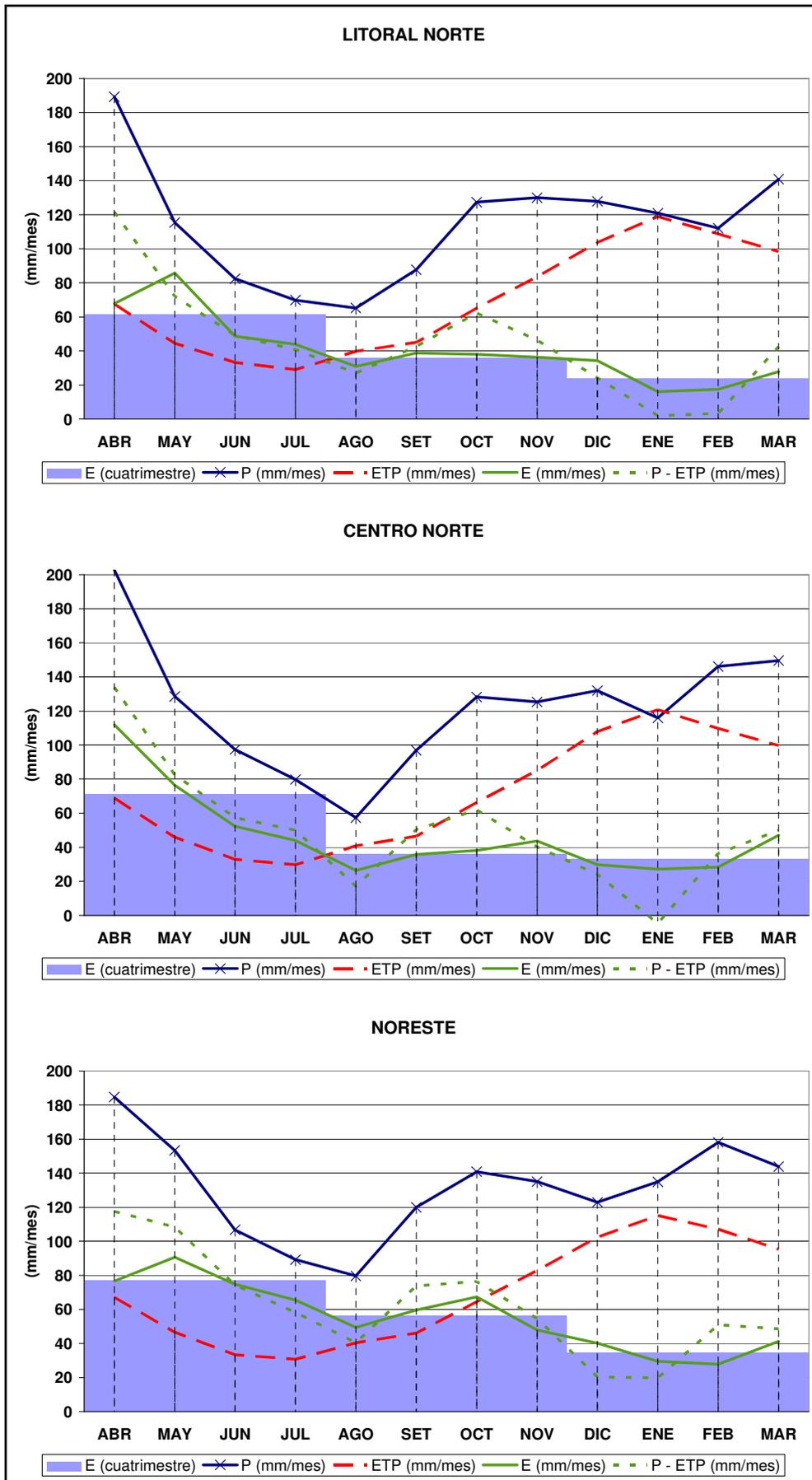


Fig. 4.1 – Ciclos anuales por región. Período de referencia 1980-2004.

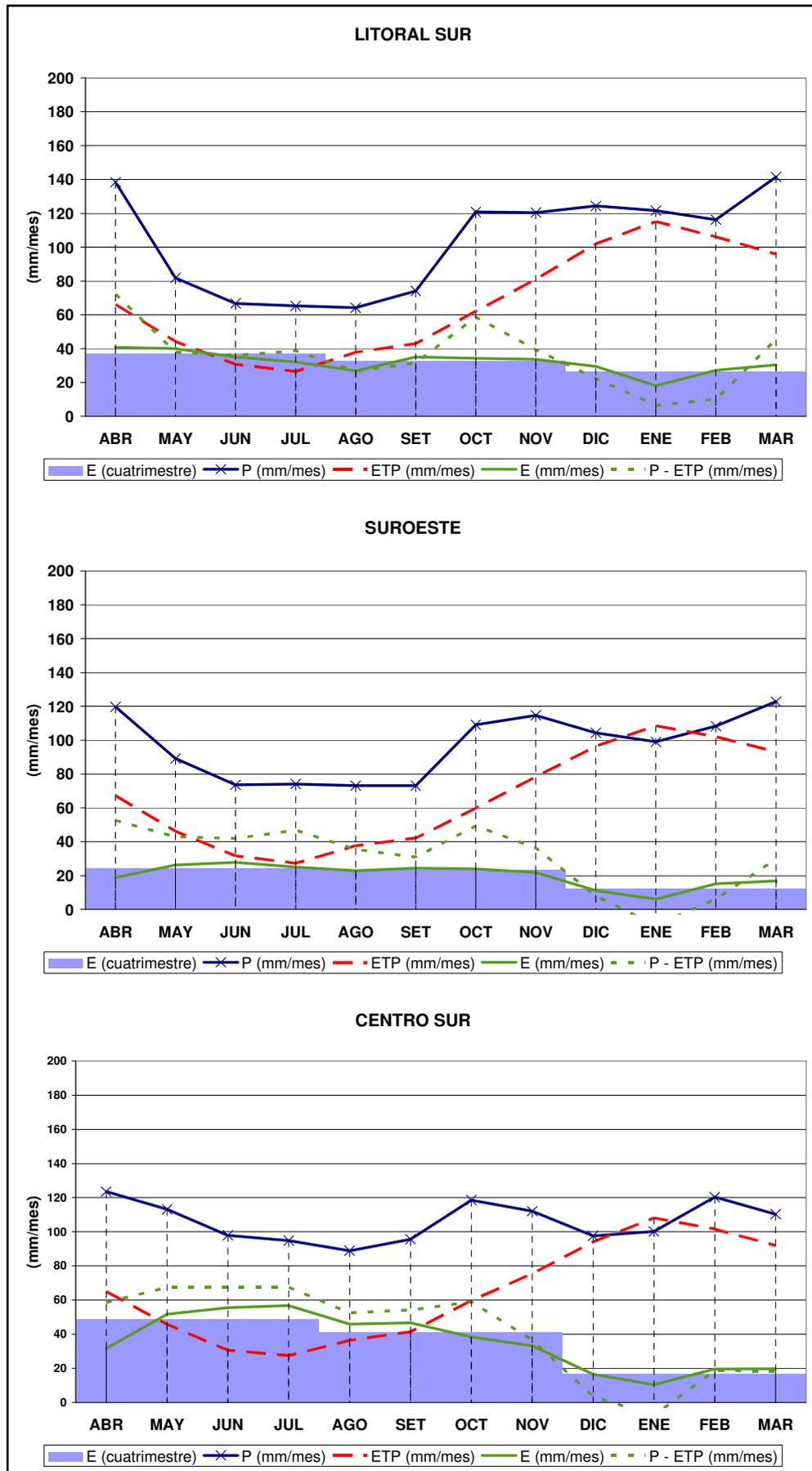


Fig. 4.2 – Ciclos anuales por región. Período de referencia 1980-2004.

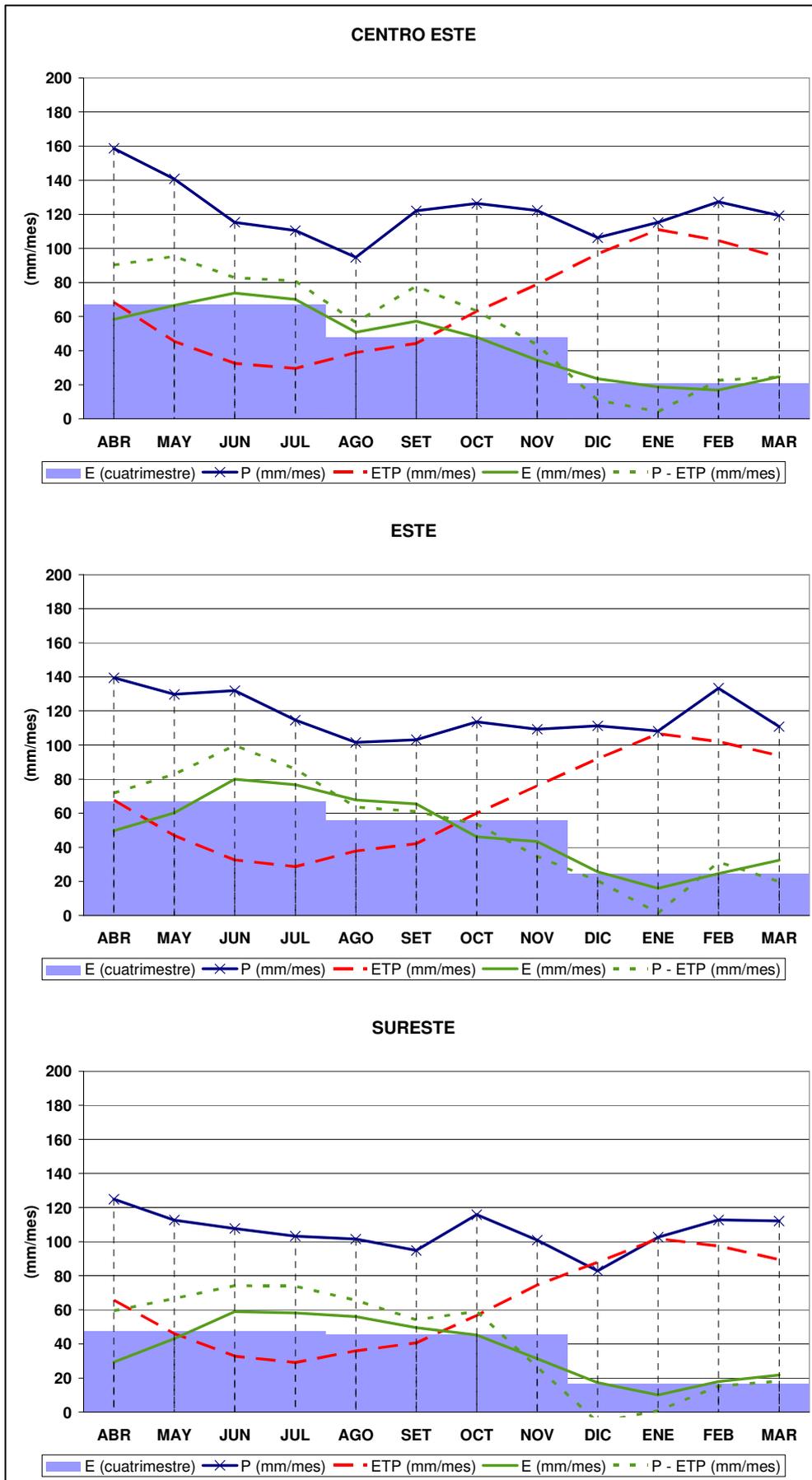
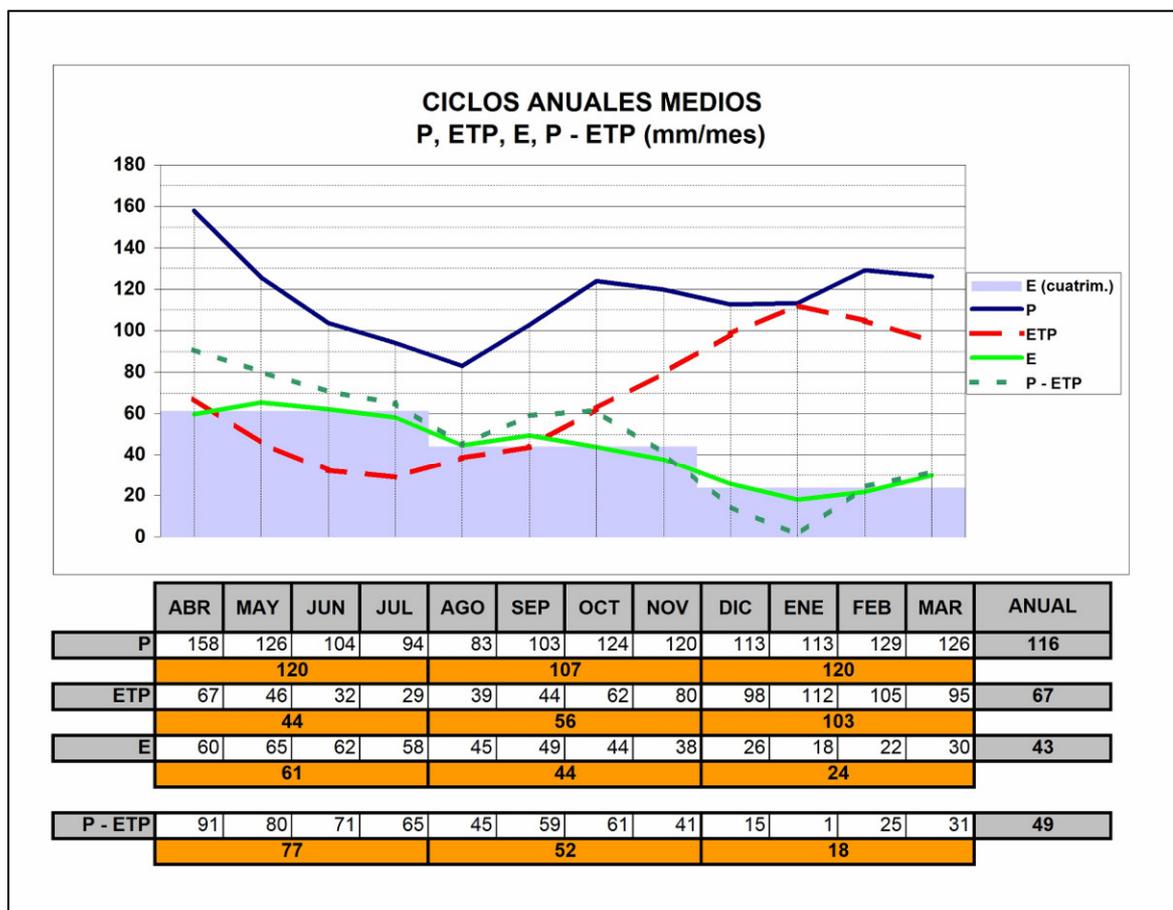


Fig. 4.3 – Ciclos anuales por región. Período de referencia 1980-2004.

Considerando en conjunto los datos resumidos para cada parámetro se puede proponer un "balance sintético de los ciclos anuales medios" que describe una tendencia para el comportamiento global de todas las regiones aforadas. En la Figura 4.4 se presentan estos valores gráficamente.

Como comprobación primaria de la consistencia global de los datos utilizados se puede observar que la diferencia media entre la precipitación y la evapotranspiración potencial iguala prácticamente al escurrimiento. Este resultado anual surge de la compensación entre los distintos períodos del año, ya que en los cuatrimestres de verano los escurrimientos medidos son superiores a la diferencia entre **P** y **ETP** (el parámetro "excedente de precipitación" subestima el escurrimiento, en parte porque la evaporación real es necesariamente menor que la potencial en estos períodos), mientras que en el resto del año la diferencia se invierte (en cada región la explicación puede tener orígenes muy diferentes).

Este comportamiento general es también identificable en cada una de las regiones definidas, aunque varían las magnitudes de una región a otra (ver Tabla 3). La comparación entre los valores cuatrimestrales en cada región muestra que en general los cuatrimestres de agosto a noviembre tienen promedios de escurrimiento iguales a los promedios anuales, los cuatrimestres de abril a julio tienen escurrimientos del orden de un 40% superior al promedio anual y los de diciembre a marzo son un 45% inferiores.



**Fig. 4.4 – Balance sintético de los ciclos anuales medios (cuencas aforadas).
Período de referencia 1980-2004.**

Otras observaciones de interés que surgen de comparar los resultados de considerar por un lado datos de todo el país (Figuras 3.1, 3.2) y por otro solamente en las cuencas aforadas (Figura 4.4) son:

- los promedios de precipitación anual calculados para todo el país son prácticamente iguales a los calculados considerando solamente las cuencas aforadas (113 vs. 116 mm/mes); lo mismo ocurre con la evapotranspiración potencial (68 vs. 67 mm/mes)
- el cálculo de la precipitación media mensual da exactamente igual considerando todo el país o solamente las cuencas aforadas para los cuatrimestres de agosto a noviembre (107 mm/mes) y de diciembre a marzo (120 mm/mes); en cambio en el cuatrimestre de abril a julio los promedios calculados son ligeramente menores para todo el país (113 mm/mes) que para las cuencas aforadas (120 mm/mes)
- los valores cuatrimestrales de evapotranspiración son idénticos en ambas formas de cálculo

Además se puede observar (ver "*Regionalización y correlaciones de parámetros hidrológicos*", Capítulo 2) que:

- la porción en territorio nacional de las cuencas aforadas cubre aproximadamente el 40% del total sobre el que se cuenta con información de suelos;
- la distribución porcentual en áreas de los distintos valores de **APDN** calculados para las unidades cartográficas de todo el país se corresponde aceptablemente con la calculada en las cuencas aforadas (Figura 4.5);
- considerados clase a clase, los promedios ponderados de **APDN** en el total del país y en las cuencas aforadas son equivalentes (Figura 4.6)

Por las consideraciones anteriores es posible admitir que en términos globales para todo el país los valores estadísticos de escurrimientos calculados en las cuencas aforadas son aceptablemente representativos del total del territorio. La extrapolación a cuencas no aforadas podrá hacerse con precaución siempre que se observen similitudes con alguna de las regiones estudiadas tanto en el comportamiento estacional de los parámetros hidrometeorológicos como en las características de los suelos.

Así, para el período de referencia 1980-2004 puede estimarse el volumen medio de escurrimiento anual para todo el país (considerando una superficie terrestre de 178.000 km²) en unos 92.000 millones de m³, de los cuales casi el 50% (43.240 millones de m³) escurre en el cuatrimestre de abril a julio y menos del 20% (17.000 millones de m³) escurre en el cuatrimestre de diciembre a marzo.

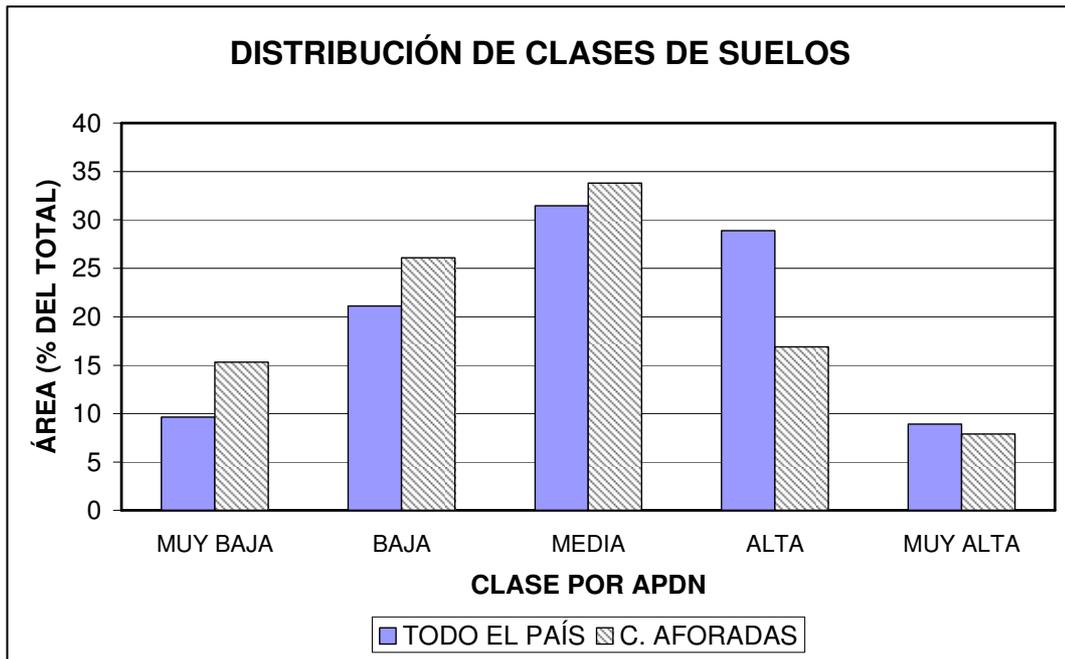


Fig. 4.5 – Distribución areal por clase de almacenamiento en suelos.

Fuente: Elaboración sobre datos de DGRNR-MGAP

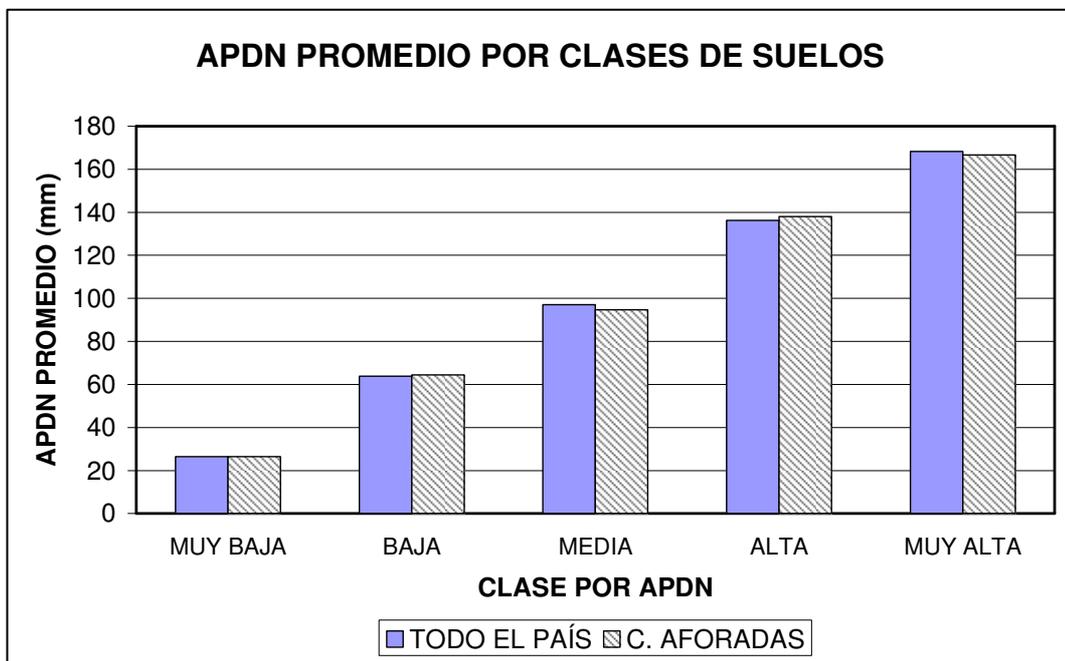


Fig. 4.6 – Promedios de APDN por clase de almacenamiento en los suelos (ponderados por área).

Fuente: Elaboración sobre datos de DGRNR-MGAP

5.- VARIACIÓN INTERANUAL

A los efectos de describir someramente la variación interanual de los caudales en largos períodos se presenta en los gráficos siguientes la evolución de los desvíos positivos y negativos de los promedios anuales y de verano entre 1980 y 2009 respecto a los correspondientes promedios multianuales del período de referencia 1980-2004.

Para este análisis fueron incluidas más estaciones que las utilizadas para las determinaciones estadísticas de los Capítulos 3 y 4. Aunque su extensión no es suficiente o la calidad de la información de base es menos confiable para aquellos fines, en cambio para este enfoque más cualitativo agregan información de valor para apreciar mejor la distribución espacial de los fenómenos descriptos.

En la Figura 5.1 se indican los promedios anuales de caudales y caudales específicos anuales de las estaciones estudiadas. Luego se marca cada año en cada estación según que los valores medios anuales hayan sido mayores **(+)** o menores **(-)** que los respectivos promedios en el período de referencia. De esta manera se puede visualizar la sucesión de períodos "secos" y "húmedos" en cada estación y por región.

A su vez se indica el año con el promedio mayor **(++)** y menor **(--)** del período en cada estación.

Debajo de cada tabla se indica la diferencia entre el total de desvíos positivos y el total de desvíos negativos, dividida por el total de casos considerados en cada año. Con este valor se cuantifica la tendencia de los registros a representar años secos o húmedos en todo el país o solo parcialmente. Cuanto mayor es el valor absoluto de este indicador más extendido territorialmente ha sido el fenómeno.

El mismo procedimiento se realizó para los promedios de verano (cuatrimestre diciembre - marzo). Los resultados se muestran en la Figura 5.2. Los cuatrimestres se identifican por el año en el que finalizan.

En este caso, el indicador **(--)** se utiliza para señalar todos los cuatrimestres con promedios inferiores al valor correspondiente al 80% de frecuencia en el período de referencia, esto es, el 20% de los veranos más secos. Además de la tendencia positiva o negativa de los desvíos respecto al valor medio anual, se agrega otro indicador de tendencia asociado al valor de frecuencia 80% para los cuatrimestres de verano. Aquí se resta al número de casos con promedio por encima del 80% el número de casos por debajo de ese valor y se divide la diferencia por el total de casos.

A continuación se hace una valoración general de los resultados obtenidos con este procedimiento.

5.1.- Sucesión de años secos y húmedos

La tendencia general en el período de referencia 1980 - 2004 ha sido la alternancia de siete años predominantemente "húmedos" (1980 - 1986), once años "secos" (1987 - 1997 con un corte en 1993) y seis años "húmedos" (1998 - 2003). Los cinco años posteriores al período de referencia presentan una tendencia "seca" en el norte del país y una alternancia de años "secos" y "húmedos" en el sur y el este, lo que en principio no aparece como una anomalía respecto a las secuencias anteriores.

5.2.- Sucesión de veranos secos y húmedos

En general se presenta una alternancia de tres o cuatro años de veranos con caudales por debajo del promedio y un año de caudales superiores. El trienio 2001-2003 fue el período más extenso con sucesión de veranos relativamente "húmedos".

En los casi 30 años considerados se presentaron solamente tres veranos en los que prácticamente en todo el país se registraron promedios inferiores a la frecuencia 80% (1989, 2000 y 2005). En 1996 y 1997 el fenómeno se repitió pero concentrado principalmente en el sur y este, mientras que en 1999, 2006, 2008 y 2009 se presentó preponderantemente al norte del Río Negro.

5.3.- Años extremos

Los mayores caudales anuales se presentaron en la mayoría de los casos entre 2001 y 2002, abarcando prácticamente todo el país. Excepcionalmente (solo en tres estaciones) los caudales anuales máximos se registraron fuera del período de referencia (2007 y 2009).

Los menores caudales anuales se registraron casi en su totalidad en el año 1989. Solo en unos pocos casos los mínimos caudales anuales ocurrieron fuera del período de referencia (en 2006 y 2008).

