



MVOTMA
Ministerio de Vivienda
Ordenamiento Territorial
y Medio Ambiente

DINAGUA
Dirección Nacional
de Aguas

DIVISIÓN SERVICIO
HIDROLÓGICO

REGIONALIZACIÓN DE ESTADÍSTICAS DE CAUDALES

BANCO NACIONAL DE DATOS HIDROMÉTRICOS
SISTEMA DE INFORMACIÓN HÍDRICA
Montevideo, 2019

PROLOGO

La siguiente publicación tiene el objetivo de aportar elementos de análisis claves para el conocimiento de nuestros recursos hídricos, y su eventual utilización de manera eficiente y sustentable.

Nuestro país cuenta con una pluviometría anual relativamente abundante y una geografía característica que hace que la variabilidad de los recursos hídricos sea relevante y compleja, tanto en términos temporales como espaciales, a pesar de su tamaño relativamente pequeño, definiendo características propias según las distintas regiones del país.

Está dirigida para su utilización, tanto por nuestros técnicos para apoyar a la gestión y administración de los recursos hídricos, como para todos los que la requieran para distintos fines particulares y generales desde el ámbito privado, el público, las organizaciones sociales y la academia.

En particular resulta clave profundizar y socializar el conocimiento de los regímenes hidrológicos de nuestros cursos de agua para avanzar en la implementación de los caudales ambientales definidos recientemente en nuestra normativa como exigencia previa para otros usos productivos. Este concepto sin duda tiene que ver con los objetivos ambientales que se persigan, y para ello se han desarrollado distintas metodologías pero todas requieren el conocimiento del régimen hidrológico de nuestros cursos de agua, que hoy podemos estimar gracias al mantenimiento de una red de estaciones de monitoreo desarrollada históricamente en el país.

Por otra parte, la gestión integrada de las aguas implica además de considerar todos los usos y beneficios vinculados al agua, entre ellos los ambientales, y para ello es necesario considerar la calidad de las aguas como una restricción, y la calidad está necesariamente vinculada a la cantidad de la misma en cada momento, por lo que estos dos conceptos no se pueden disociar y debemos también integrarlos.

Tal como se plantea en los distintos programas del Plan Nacional de Aguas, aprobado en 2017, el aporte de esta información es fundamental para alimentar las herramientas de modelación tanto de la cantidad como de la calidad de las aguas, fundamentales para ayudar a la toma de decisiones, de manera informada y anticipada, para lograr una utilización sostenible de las aguas y el ambiente.

Daniel Greif

Director Nacional de Aguas

PRESENTACIÓN

La presente publicación continúa la serie informes temáticos de la DINAGUA orientada a presentar en forma resumida y sistematizada la información hidrométrica disponible y algunas evaluaciones cuantitativas o cualitativas de los principales fenómenos hidrológicos observados en cada período. En particular, es una revisión de los resultados presentados en las publicaciones "*Ciclos anuales y estacionales de parámetros hidrológicos (1980-2004)*" y "*Regionalización y correlaciones de parámetros hidrológicos*" de marzo de 2012, también disponibles en la página web del MVOTMA.

La División Servicio Hidrológico es la oficina técnica de la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA) encargada de la instalación, mantenimiento y operación de una red básica de estaciones hidrométricas en todo el país, del procesamiento de los datos generados y la producción de informes, estudios estadísticos y publicaciones, y de coordinar y sistematizar el intercambio de información entre las distintas instituciones generadoras de datos hidrológicos e hidrogeológicos a nivel nacional y regional.

La "*Guía de Prácticas Hidrológicas*" (OMM Nº 168) define que "*la misión principal de un servicio hidrológico, o de un organismo equivalente, es suministrar información a los decisores sobre el estado y la evolución de los recursos hídricos del país.*"

Para la realización de estos informes ha sido fundamental la participación de los funcionarios del Servicio Hidrológico (Juan C. Giacri, Jorge Coó, 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 de la DINAGUA 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.

Ing. Rodolfo Chao

Montevideo, mayo de 2019

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se describen los estadísticos más usuales para caracterizar los comportamientos hidrológicos de las distintas cuencas y se analizan varias correlaciones posibles entre esos parámetros, lo que introduce algunas pautas para su uso y regionalización con fines de extrapolación a cuencas no aforadas.

La información hidrométrica utilizada ha sido elaborada a partir de datos del Banco Nacional de Datos Hidrométricos. Se seleccionó para este trabajo las estaciones hidrométricas con series de caudales continuas y confiables en el período de referencia (1980 a 2010).

También fueron utilizados los resultados de un modelo de Balance Hidrológico Superficial, desarrollado en 2014 en el marco del proyecto del *Plan Nacional de Gestión integrada de Recursos Hídricos con Adaptación al Cambio Climático en Uruguay*, insumo del **Plan Nacional de Aguas** aprobado en 2017.

De dicho modelo de Balance Hidrológico Superficial se utilizaron principalmente las series mensuales de precipitación **P**, evapotranspiración **ETR** y escurrimiento **E** para generar estadísticas regionales (subcuencas de nivel 2) para el período 1980-2012.

Existe una diferencia fundamental entre ambos conjuntos de datos que debe tenerse presente al comparar los resultados obtenidos en cada caso. El primero utiliza datos diarios, calculados a partir de mediciones directas, pero referidos estrictamente a las cuencas seleccionadas. En cambio el segundo conjunto de datos abarca todo el territorio nacional pero son acumulados mensuales generados por aplicación de una calibración del modelo de balance bajo ciertas hipótesis de similitud de cuencas y una "función objetivo" determinada. Ésta responde principalmente a una finalidad de evaluación de recursos hídricos a nivel de cuencas. Esta última consideración hace que, por ejemplo, las series mensuales del modelo no necesariamente representen acertadamente los períodos de escurrimientos extremos.

En el presente estudio se formulan distintos enfoques que buscan complementar las ventajas de cada método de análisis para obtener una mayor comprensión de las diferencias regionales y estacionales en los comportamientos hidrológicos de las diferentes cuencas del país.

Las posibilidades reales de tener registros históricos hidrométricos en cuencas superficiales de manera continua y confiable están limitadas a muchas menos secciones que las necesarias o deseables. En particular, la medición sistemática de caudales bajos suele presentar dificultades prácticas y en consecuencia la determinación de parámetros estadísticos confiables es de baja precisión. Por esa razón se hace necesario encontrar correlaciones con otros parámetros más robustos que permitan hacer una estimación indirecta cuando las mediciones directas son escasas o poco precisas.

En cuencas aforadas, es decir, donde existen estaciones hidrométricas con series históricas extensas, continuas y confiables, es posible determinar los parámetros estadísticos de mayor detalle (frecuencias diarias estacionales, secuencias de eventos de caudales bajos de distintas duraciones, etc.) mientras que con estudios como los balances hidrológicos se pueden calcular parámetros estadísticos de escalas temporales mayores (mensual, cuatrimestral, anual) y de mayor cobertura geográfica.

Por lo tanto, si se pueden determinar ciertas correlaciones entre los estadísticos de distintas escalas para las cuencas aforadas y a su vez se pueden identificar tendencias regionales en los comportamientos de esos estadísticos se tendrá un argumento válido para extrapolar las inferencias estadísticas de detalle dentro de cada región identificada.

2. ESTADÍSTICAS DE CAUDALES ANUALES Y ESTACIONALES

Para el estudio se utilizó información de cerca de 35 estaciones hidrométricas del Servicio Hidrológico con series de datos de caudales de entre 15 y 30 años de extensión para el período de referencia propuesto (1980-2010). Las cuencas de aporte de dichas estaciones tienen tamaños comprendidos entre 360 y 8.900 km² y están distribuidas territorialmente de una manera bastante uniforme en todo el país. Las cuencas seleccionadas cubren en total unos 88.740 km², un área cercana al 50% del territorio nacional, aunque de ese total unos 9.400 km² están en territorio brasileño (partes de las cuencas de los ríos Cuareim, Negro y Yaguarón). En la **Figura 1** se delimitan las cuencas incrementales de las estaciones hidrométricas utilizadas en el estudio identificadas por su código.

En publicaciones anteriores se mostró que las áreas interceptadas por las estaciones hidrométricas de la red principal tienen una distribución muy similar a la de todo el territorio nacional tanto al considerar su “climatología” media (**P – ETP**) como los distintos tipos de suelos presentes.¹ Esta constatación permite asumir una aceptable representatividad de las cuencas aforadas con respecto al total.

También se determinó en dichas publicaciones, y se vuelve a mostrar a continuación, que el año hidrológico en todo el país puede considerarse comenzando en abril y que los ciclos medios de caudales se pueden caracterizar estacionalmente en cuatrimestres.

Para cada una de las estaciones hidrométricas se determinaron los siguientes parámetros estadísticos:

q – caudal medio específico anual (L/s-km²)

q_i, q_j – caudal medio específico de cada mes *i* y cuatrimestre *j*

q_{j (FF%)} – caudal específico con frecuencia diaria FF% en el cuatrimestre *j*²

q_{3 (N,T)} – mínimo caudal específico en promedio móvil de N días con T años de período de retorno en el cuatrimestre *j* = 3 (DIC-MAR)

De las series mensuales resultado del Balance Hidrológico se dedujo además para cada subcuenca de Nivel 2 los siguientes parámetros estadísticos:

E – escurrimiento acumulado anual (mm)

E_i, E_j – escurrimiento acumulado de cada mes *i* y cuatrimestre *j*

E_(FF%) – escurrimiento acumulado con frecuencia anual FF%

E_{j (FF%)} – escurrimiento acumulado estacional en el cuatrimestre *j* con frecuencia anual FF%

¹ “Regionalización y correlaciones de parámetros hidrológicos” (DINAGUA, marzo de 2012)

² Frecuencias acumuladas de excedencia: porcentaje de casos (años, meses, días) en el período estadístico total en los que la variable estadística iguala o excede un valor dado. Ver más detalles en Anexo III.

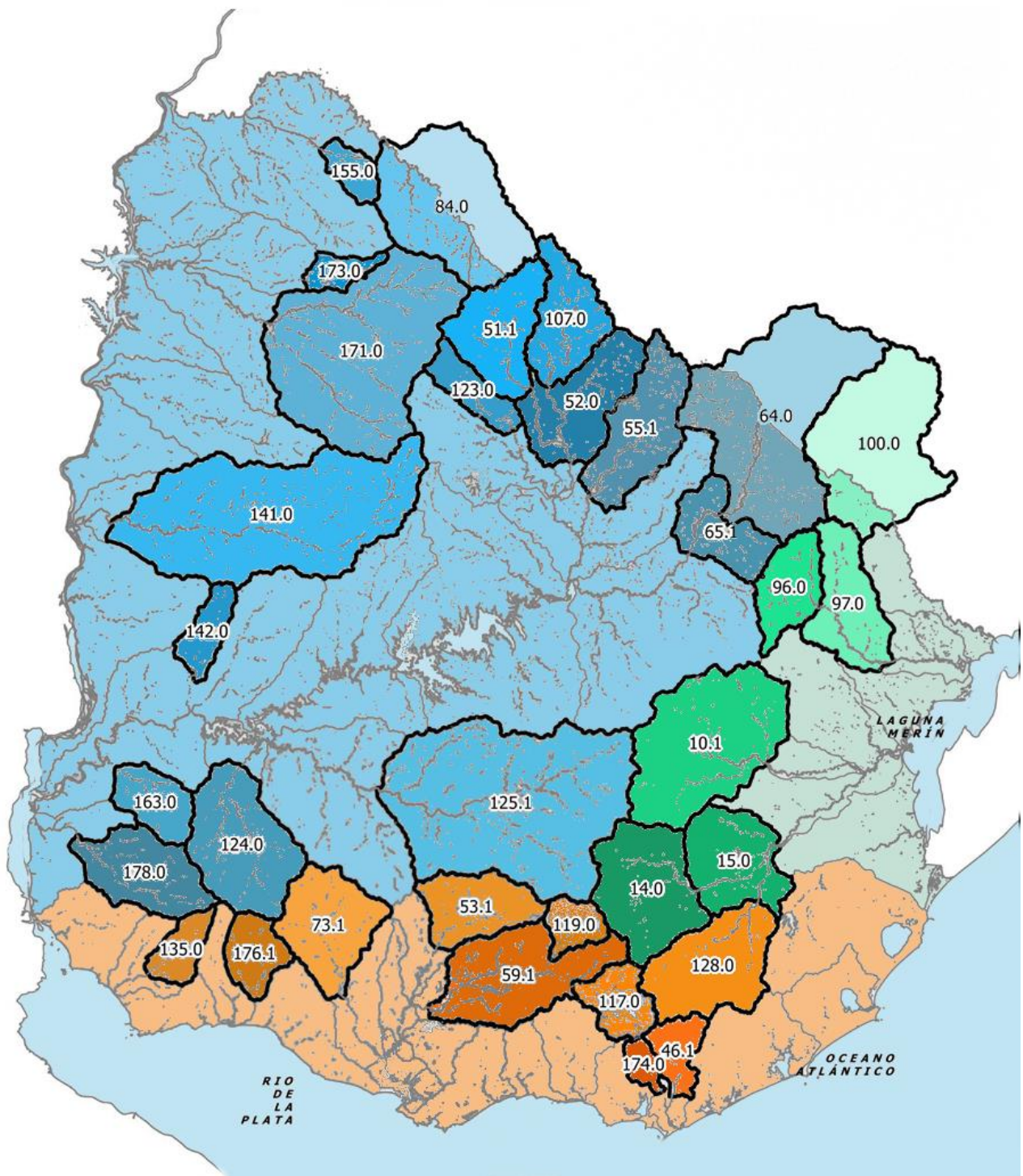


Figura 1 – Estaciones hidrométricas seleccionadas y sus cuencas incrementales.

CUENCAS AFORADAS EN TODO EL TERRITORIO NACIONAL
DEFINICIÓN DE LOS CICLOS ANUALES DE CAUDALES
DESVIOS MENSUALES DE LA MEDIA ANUAL DE CAUDALES - PERÍODO 1980 - 2010

CUENCA	C3	CURSO	ESTACIÓN	ÁREA (km2)	PROM. ANUAL (m3/s)	Q ESP. ANUAL (L/s/km2)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
RÍO URUGUAY	103	Río Cuareim	84.0	4420	97.29	22.01	++	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	107	Ao. Tres Cruces	155.0	573	7.41	12.93	++	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+
	123	Río Arapey Chico	173.0	518	9.77	18.85	++	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-
	135	Río Arapey Grande	171.0	6934	109.43	15.78	++	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+
	178	Río Queguay Grande	141.0	7863	118.92	15.12	+	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
193	Río San Salvador	178.0	2157	21.44	9.94	+	-	-	-	-	+	-	+	++	+	+	-	
RÍO NEGRO	504	Río Negro	64.0	6525	90.21	13.83	+	+	++	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	505	Río Negro	65.1	8039	130.69	16.26	+	+	++	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	516	Río Tacuarembó	51.1	2210	42.52	19.24	+	++	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-
	517	Ao. Cuñapirú	107.0	1929	38.72	20.07	+	++	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	519	Río Tacuarembó	52.0	6599	130.94	19.84	+	++	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-
	524	Ao. Tres Cruces	123.0	916	17.88	19.51	+	++	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-
	536	Ao. Yaguari	55.1	2491	51.07	20.50	+	++	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-
	566	Río Yí	125.1	8878	125.26	14.11	-	+	+	++	+	+	+	-	-	-	-	-
	570	Ao. Grande del Sur	124.0	3106	20.7	6.7	+	+	+	+	+	+	+	++	-	-	-	-
	582	Ao. Don Esteban	142.0	789	8.50	10.77	+	++	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-
588	Ao. Bequeló	163.0	1146	12.9	11.3	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	++	
R. de la P.	215	Río San Juan	135.0	748	7.32	9.80	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	++
	235	Río Rosario	176.1	999	8.27	8.28	+	+	+	+	+	++	+	+	+	-	-	-
RÍO SANTA LUCÍA	601	Río Santa Lucía	117.0	1078	17.48	16.22	-	+	+	+	++	+	+	+	-	-	-	-
	605	Ao. Casupá	119.0	690	8.65	12.53	-	+	+	++	+	+	+	-	-	-	-	-
	608	Río Santa Lucía	59.1	4916	63.83	12.98	-	+	++	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	615	Río Santa Lucía Chico	53.1	1748	23.57	13.48	-	+	++	+	+	+	+	+	-	-	-	-
	655	Río San José	73.1	2315	30.67	13.25	-	++	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
OC. ATL.	301	Ao. San Carlos	46.1	804	10.65	13.25	-	+	+	++	+	+	+	-	-	-	-	-
	306	Ao. Maldonado	174.0	364	5.30	14.59	-	+	+	+	++	+	+	-	-	-	-	-
LAGUNA MERÍN	406	Río Yaguarón	100.0	4622	70.92	15.34	+	+	+	++	+	+	+	-	-	-	-	-
	413	Río Tacuarí	96.0	1423	24.87	17.48	+	+	+	++	+	+	-	-	-	-	-	-
	417	Río Tacuarí	97.0	3537	59.49	16.82	-	+	+	++	+	+	+	-	-	-	-	-
	437	Río Olimar Grande	10.1	4678	90.30	19.31	+	++	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	444	Río Cebollatí	14.0	2899	57.05	19.68	-	+	+	++	+	+	+	-	+	-	-	-
	445	Ao. del Aiguá	128.0	2749	37.93	13.80	-	-	+	++	+	+	+	-	-	-	-	-
	446	Río Cebollatí	15.0	7872	116.78	14.83	-	+	+	++	+	+	+	-	-	-	-	-

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

1980-2010	PROMEDIOS REGIONALES				L/s/km2 mm mm/mes
	ANUAL	ABR-JUL	AGO-NOV	DIC-MAR	
	15.5	21.1	16.4	9.1	
	490.6	223.0	172.3	95.3	
40.9	55.7	43.1	23.8		

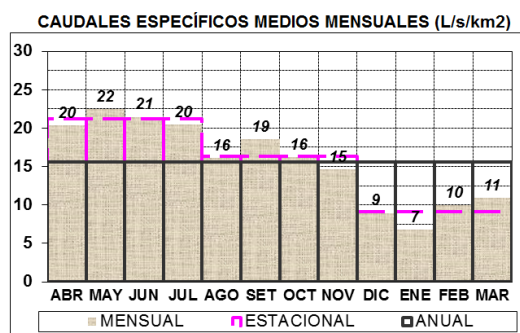
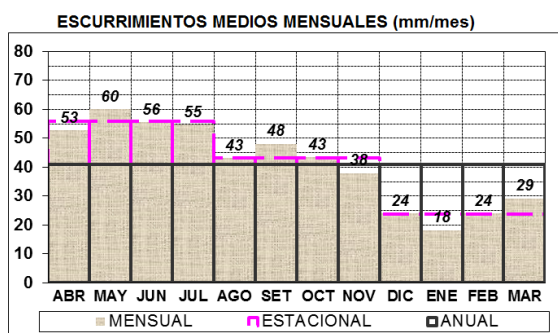


Figura 2 – Ciclos medios anuales de caudales en cuencas aforadas (1980 – 2010)

Estaciones hidrométricas del Servicio Hidrológico

1980-2010	PROMEDIOS REGIONALES				L/s/km2
	ANUAL	ABR-JUL	AGO-NOV	DIC-MAR	
	15.9	22.0	15.5	10.2	
	501.6	231.6	163.7	106.4	mm
	41.8	57.9	40.9	26.6	mm/mes

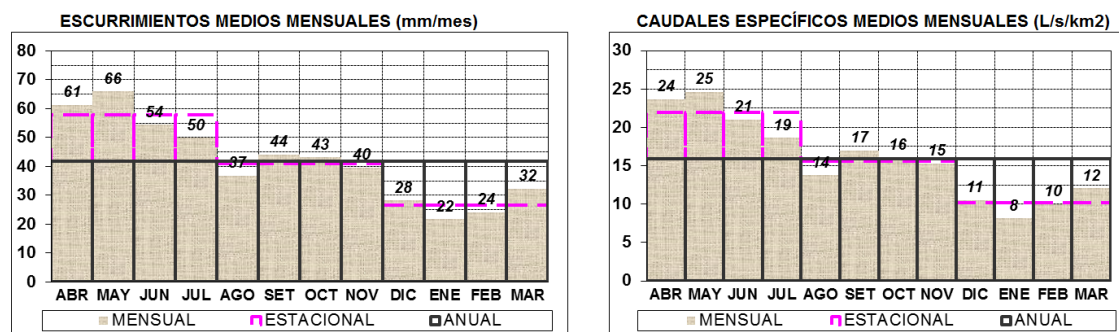


Figura 3 – Ciclos medios anuales de caudales – Vertiente del Río Uruguay (1980 – 2010)
Estaciones hidrométricas del Servicio Hidrológico

1980-2010	PROMEDIOS REGIONALES				L/s/km2
	ANUAL	ABR-JUL	AGO-NOV	DIC-MAR	
	15.0	19.8	17.7	7.4	
	472.2	208.6	186.8	76.8	mm
	39.3	52.2	46.7	19.2	mm/mes

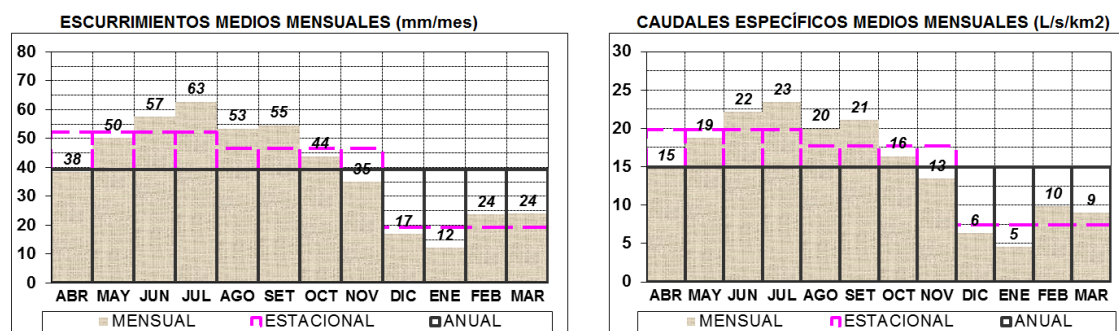


Figura 4 – Ciclos medios anuales de caudales – Vertiente Platense y Atlántica (1980 – 2010)
Estaciones hidrométricas del Servicio Hidrológico

2.1. Ciclo medio anual

Para cada estación hidrométrica se determinó el caudal específico medio anual q y los caudales medios mensuales q_i en el período estadístico de referencia 1980-2010. La **Figura 2** resume la información de identificación de las estaciones seleccionadas y los valores de caudales específicos promedios. Los números de estación son los que identifican los datos presentados en los distintos gráficos y tablas del documento. Las áreas de cuenca indicadas en este caso son los valores acumulados en cada cierre, incluyendo las porciones fuera del territorio nacional. La columna encabezada por el código C3 refiere a la codificación de subcuencas de nivel 3 que le corresponde a cada estación (ver **Anexo I**).

Se utiliza un código de colores para cada mes del año según que el caudal medio mensual q_i de cada estación sea superior o inferior al respectivo promedio anual q (desvíos positivos en tonos azules y negativos en tonos amarillos), lo que define un período "húmedo" y otro "seco" dentro de un ciclo medio anual.

Al pie del cuadro se muestran gráficos con los ciclos medios regionales, expresados como escurrimientos (mm/mes) y caudales específicos (L/s-km²) mensuales, cuatrimestrales y anuales, donde los caudales medidos en cada cuenca aforada y cada período del año fueron promediados proporcionalmente a las áreas de las cuencas incrementales individuales. Las **Figuras 3 y 4** muestran el mismo tipo de resumen estadístico pero agrupando los datos según las dos principales vertientes, la del Río Uruguay (incluyendo el Río Negro) y la Platense y Atlántica (incluyendo el Río de la Plata y la Laguna Merín).

Se observa que los ciclos medios anuales de caudales presentan en términos cualitativos un comportamiento bastante homogéneo en todo el país y ligeras diferencias al discriminar las distintas vertientes. Es posible distinguir en todos los casos un período estacional de caudales mensuales tendencialmente inferiores al promedio anual entre diciembre y marzo, con un mínimo anual que se presenta en casi todos los casos en enero. Una singularidad llamativa se puede observar en las cuencas de los ríos Cuareim, Arapey y Arapey Chico y del arroyo Tres Cruces. En esas cuatro cuencas resulta que el mes que estadísticamente presenta los menores caudales en el año es agosto. También en varias otras cuencas, sobre todo afluentes del río Negro, agosto se presenta como un mínimo relativo interrumpiendo la fase húmeda del ciclo.

Por lo tanto el “año hidrológico”, definido estadísticamente por la alternancia de períodos húmedos y secos en relación al promedio anual, puede considerarse en todos los casos comenzando en el mes de abril y así se ha procedido en todos los análisis presentados en este estudio.

Si se admite que las cuencas aforadas (áreas coloreadas en la **Figura 1**) son representativas del total del territorio, el promedio general de escurrimiento anual de **490 mm** equivale a unos **86.450 hm³** para todo el país. Se observa que el cuatrimestre de verano (DIC-MAR) presenta caudales medios de aproximadamente un **60% del promedio anual** (65% en la vertiente del Río Uruguay y 50% en la Platense-Atlántica), que en volumen representa un **20% del total anual** (22% en la vertiente del Río Uruguay y 16% en la Platense-Atlántica).

De forma análoga, la **Figura 5** muestra un ciclo medio anual como resumen de los resultados del Balance Hidrológico Superficial (DINAGUA 2014; ver resumen en **Anexo V**) integrados en una única unidad geográfica para todo el país. Según esta otra forma de cálculo, se observa el mismo comportamiento general del ciclo anual que el deducido de los datos hidrométricos, con los meses de diciembre a marzo como los de caudales por debajo de la media. El volumen total de escurrimiento superficial (**77.500 hm³** según este otro cálculo) es del orden del 34% del volumen anual de precipitación, y cerca del 20% del total ocurre en el tercer cuatrimestre.

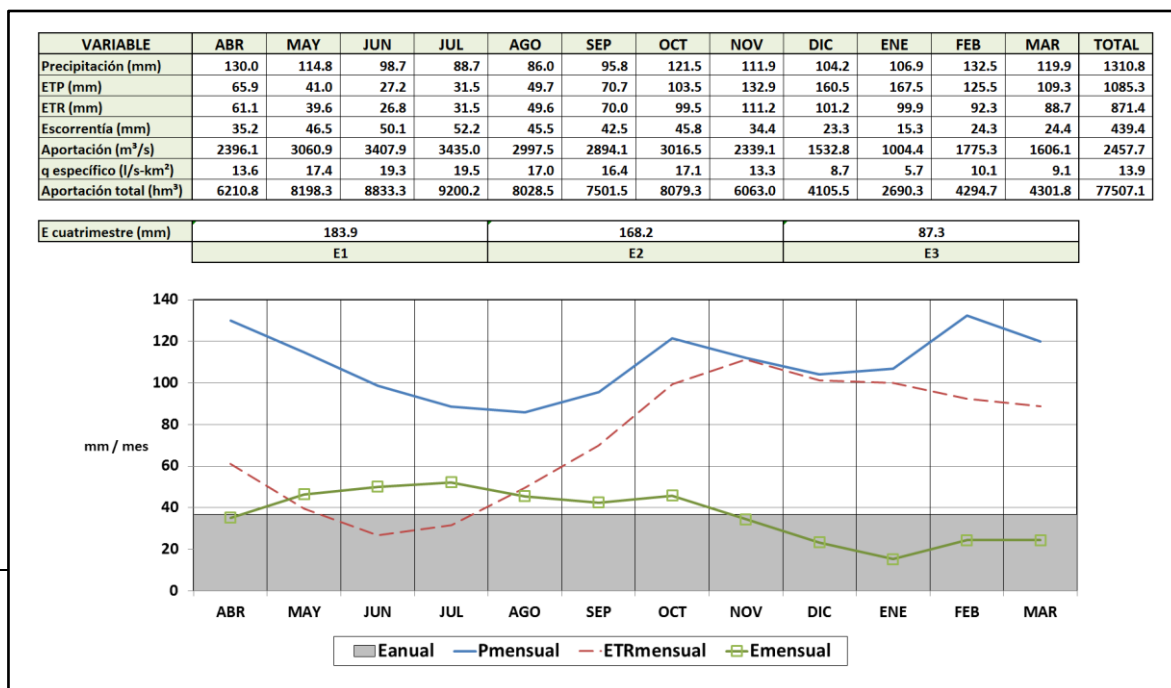


Figura 5 - Ciclo de promedios mensuales (P, ETR, E) para todo el país (1980 – 2012)
Resultados del modelo de balance hidrológico (Balance Hidrológico Superficial DINAGUA 2014)

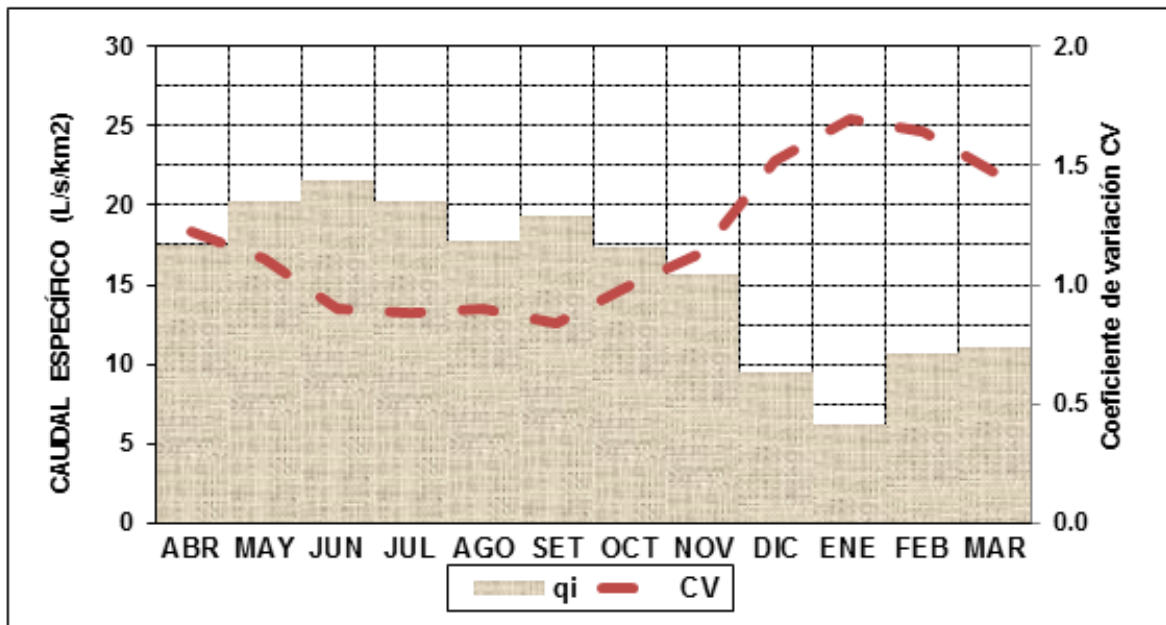


Figura 6 – Ciclo medio anual de caudales específicos q_i y coeficientes de variación CV (1980-2010)
Estaciones hidrométricas del Servicio Hidrológico

2.2. Variabilidad interanual

Es necesario tener presente que los promedios anuales de variables hidrometeorológicas no son precisamente el valor más probable para un año cualquiera; con más razón el "ciclo medio anual" como tal no tiene prácticamente ninguna probabilidad de presentarse de esa misma manera en un año en particular. Esta característica se describe por la variabilidad interanual de los distintos parámetros hidrológicos considerados. En nuestro país esta dispersión estadística se presenta con una amplitud muy marcada.

En efecto, al considerar el coeficiente de variación de los caudales mensuales (CV = desviación estándar / valor medio) se aprecia que nunca es inferior a 0.8 y en todo el período seco supera el valor 1.5 (**Figura 6**).

Este resultado se puede también deducir de las series sintéticas generadas por el modelo de balance hidrológico. Los valores medios de largo período en cada unidad de cuenca (E_{med}) tienen una frecuencia anual de excedencia del orden de 40% ($E_{(40\%)}$), lo que equivale a decir que solamente en dos de cada cinco años observados se presentaron escurrimientos iguales o superiores al promedio general. Los escurrimientos de frecuencia anual 50% (superados en uno de cada dos años, $E_{(50\%)}$) son en casi todos los casos menores que el promedio respectivo y en general no superan el 90% de ese valor (**Figura 7**).

Los mapas de la **Figura 8** muestran la distribución geográfica de los escurrimientos acumulados anuales medios (E_{med}) y los totales anuales con frecuencia 80% ($E_{(80\%)}$). Se aprecia en ambos casos un gradiente descendente de orientación general noreste a suroeste. Mientras que el promedio nacional de escurrimiento acumulado anual (E_{med}) alcanza los 440 mm, en una porción muy importante del país (más del 30% en superficie) los promedios calculados son inferiores a 400 mm (**Figura 8**, izquierda). Por otra parte, en cualquiera de las subcuencas se puede esperar al menos una vez cada cinco años ($E_{(80\%)}$) valores inferiores a 300 mm (70% del promedio histórico), y en casi la mitad del país menos de 200 mm (45% del promedio). (**Figura 8**, derecha).

En cuanto a los escurrimientos de verano se pueden extraer conclusiones similares, siendo las variaciones interanuales aún más marcadas. Los promedios de largo período para el tercer cuatrimestre acumulado ($E3_{med}$) son comparables con los de frecuencia anual de 30% ($E3_{(30\%)}$); ya los de frecuencia 50% ($E3_{(50\%)}$) bajan a aproximadamente la mitad y los de frecuencia 80% ($E3_{(80\%)}$) no superan en general la quinta parte de los respectivos valores medios (**Figura 9**).

Los mapas de la **Figura 10** muestran la distribución geográfica de los escurrimientos acumulados medios en el tercer cuatrimestre ($E3_{med}$) y los correspondientes a la frecuencia anual de 50% ($E3_{(50\%)}$). El gradiente en estos casos tiene orientación general descendente de norte a sur. El promedio nacional de escurrimiento acumulado en verano ($E3_{med}$) alcanza los 87 mm, y en aproximadamente un tercio del país es inferior a 75 mm (**Figura 10**, izquierda). Sin embargo, en todas las subcuencas se observa que este último valor puede no ser alcanzado en el 50% de los años ($E3_{(50\%)}$) (**Figura 10**, derecha).

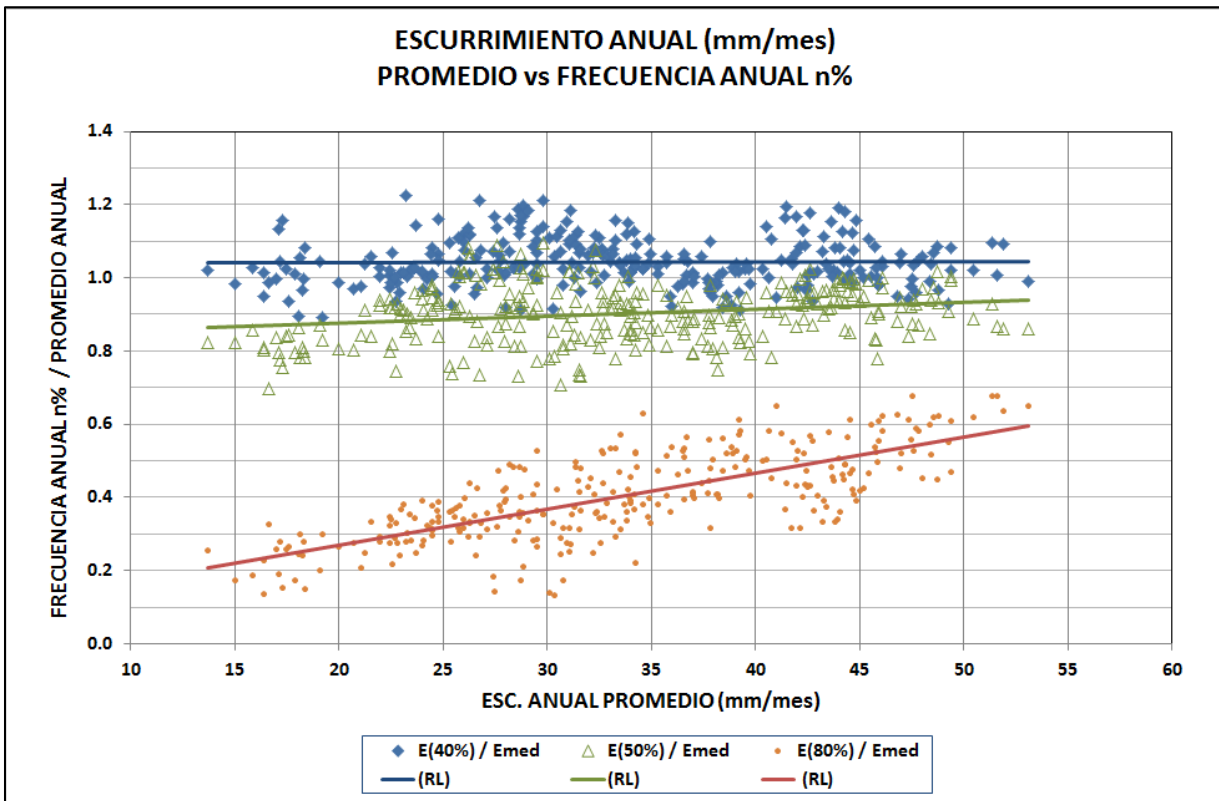


Figura 7 - Relación E_{med} vs. $E_{(40\%)}$, $E_{(50\%)}$, $E_{(80\%)}$

Resultados del modelo de balance hidrológico - (Balance Hidrológico Superficial DINAGUA 2014)

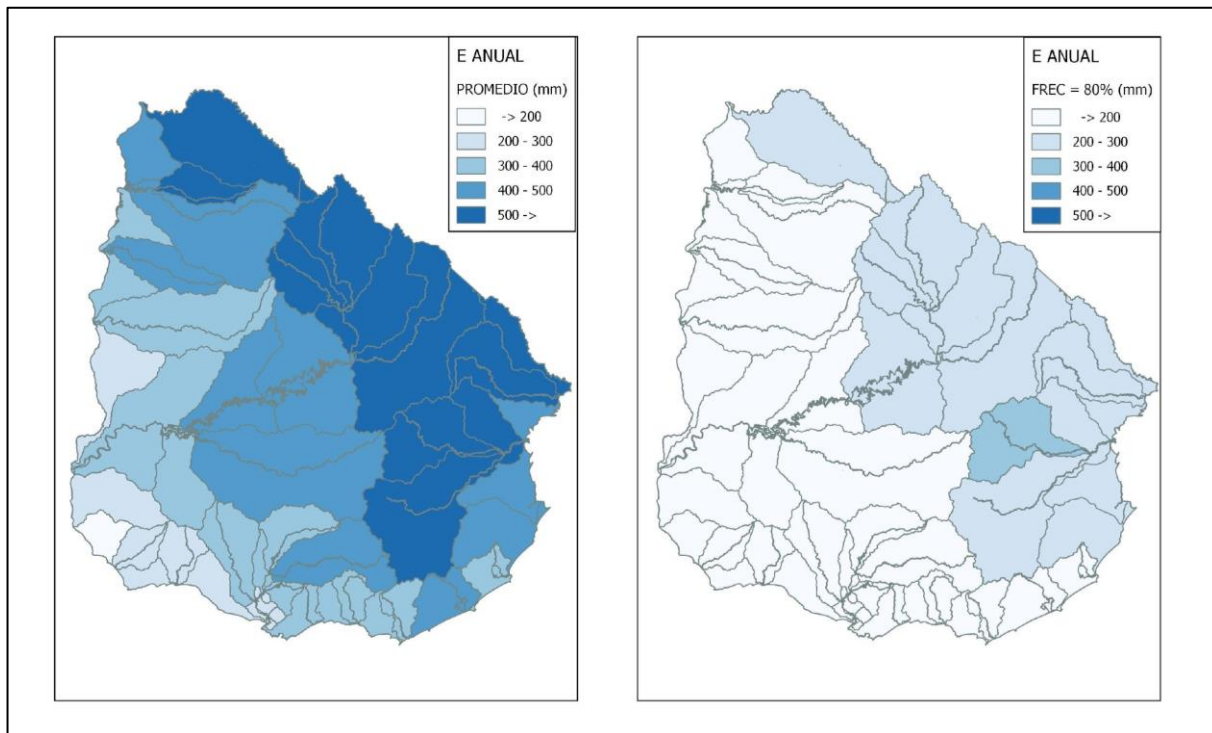


Figura 8 - Distribución geográfica de E_{med} y $E_{(80\%)}$

Resultados del modelo de balance hidrológico (Balance Hidrológico Superficial DINAGUA 2014)

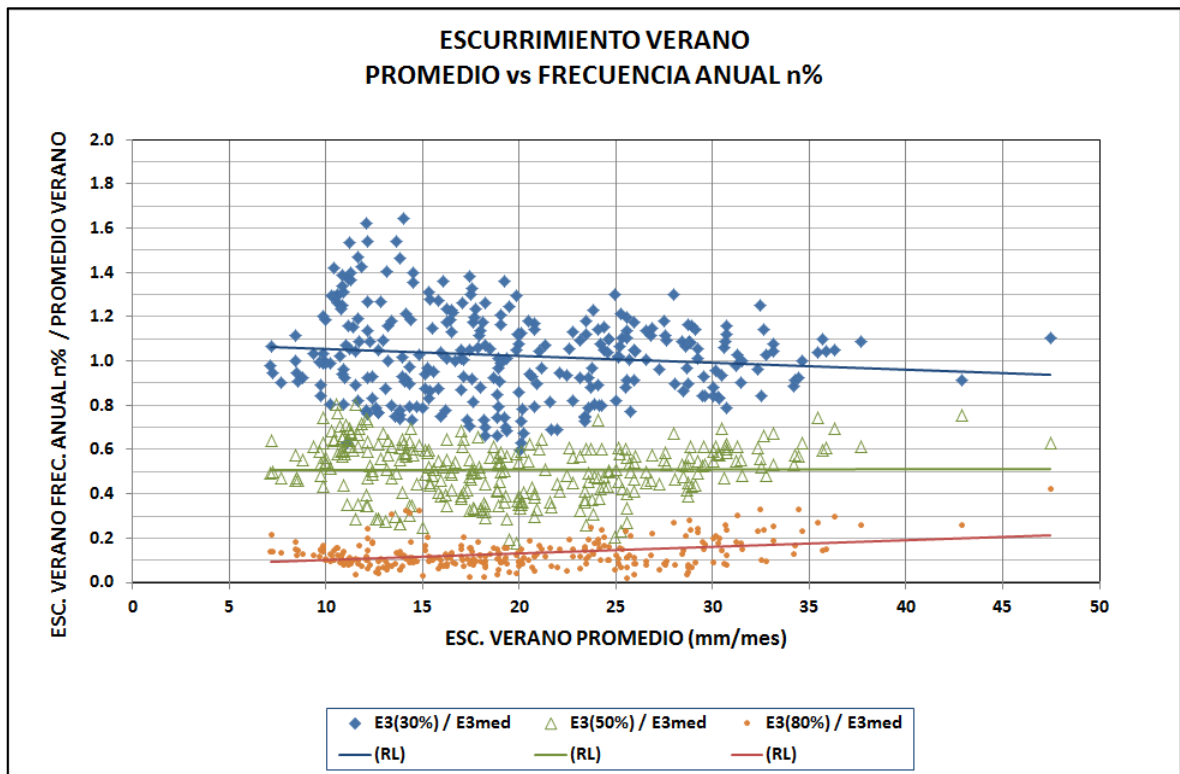


Figura 9 - Relación $E3_{med}$ vs. $E3_{(30\%)}$, $E3_{(50\%)}$, $E3_{(80\%)}$

Resultados del modelo de balance hidrológico (Balance Hidrológico Superficial DINAGUA 2014)

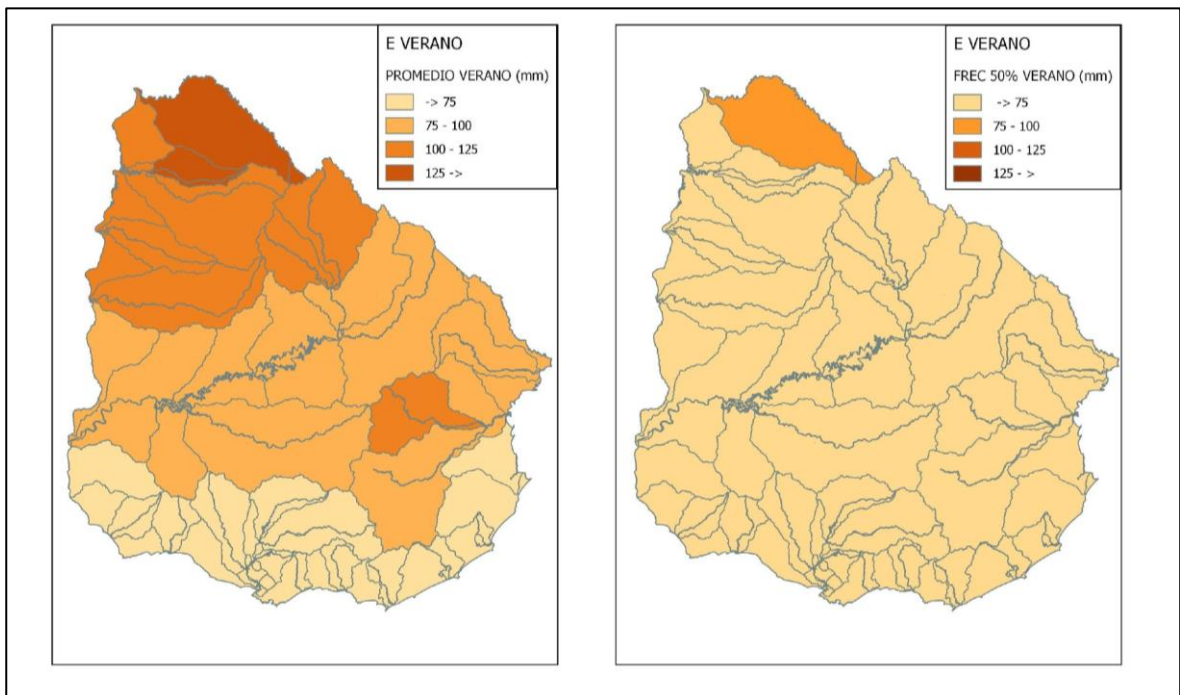


Figura 10 - Distribución geográfica de $E3_{med}$ y $E3_{(50\%)}$

Resultados del modelo de balance hidrológico (Balance Hidrológico Superficial DINAGUA 2014)

2.3. Frecuencia de caudales medios diarios estacionales

Numéricamente, los caudales medios estacionales son el resultado de promediar algunos pocos días de altos escurrimientos seguidos de períodos más prolongados con caudales de recesión

mucho más bajos. Esta variabilidad intra-estacional es enmascarada por los promedios mensuales y estacionales. Se puede describir mediante las curvas de frecuencias acumuladas de promedios diarios (ver **Anexo III**), donde los caudales iguales o superiores al promedio presentan una frecuencia relativamente baja, mientras que los períodos de recesión se describen con los valores de frecuencias más altas. Para describir estos últimos, en este estudio se consideraron en particular las frecuencias diarias de 60%, 80% y 90% en cada uno de los cuatrimestres.

En la **Figura 11** se resumen esquemáticamente los resultados de las curvas de frecuencias diarias estacionales calculadas para las estaciones hidrométricas seleccionadas. Cada columna representa una estación hidrométrica y la altura en la columna corresponde a las distintas frecuencias estacionales ordenadas entre 0.1% y 99.9%. En cada columna se han resaltado las celdas según su valor numérico como fracciones de los respectivos caudales medios estacionales.

Las **Figuras 12 a 14** muestran la misma información presentada como histogramas y frecuencias acumuladas de los valores normalizados de q_j (FF%) / q_j para cada cuatrimestre j y distintas frecuencias seleccionadas.

De los gráficos y cuadros en dichas figuras se pueden extraer las siguientes conclusiones.

Primer cuatrimestre (**ABR-JUL, Fig. 12**):

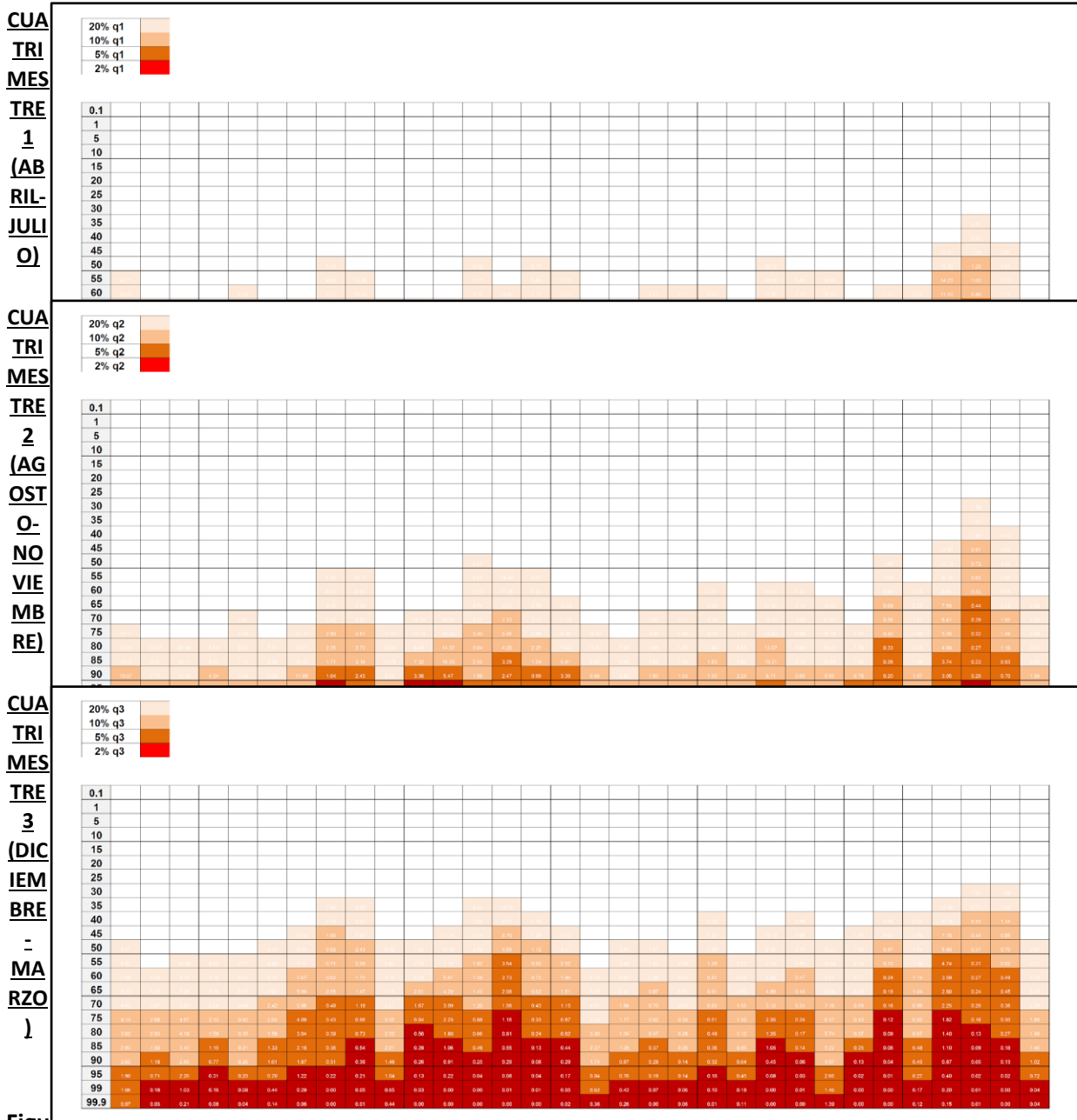
- en solamente **1/5** de las estaciones los caudales diarios con frecuencia de 90% son superiores al 5% del caudal medio respectivo (q_1);
- en **1/8** de ellas los caudales diarios con frecuencia de 80% son superiores al 10% del q_1 ;
- alrededor de **2/5** tienen caudales diarios con frecuencia de 60% mayores que el 20% del q_1 .

Segundo cuatrimestre (**AGO-NOV, Fig. 13**):

- alrededor de **2/3** de las estaciones tienen caudales diarios con frecuencia de 90% mayores que el 5% de su caudal medio estacional (q_2);
- en **2/3** de ellas los caudales diarios con frecuencia de 80% superan el 10% del q_2 ;
- alrededor de **3/5** tienen caudales diarios con frecuencia de 60% mayores que el 20% del q_2 .

Tercer cuatrimestre (**DIC-MAR, Fig. 14**):

- en más de **1/2** de las estaciones los caudales diarios con frecuencia de 90% superan el 2% de su caudal medio estacional (q_3);
- en **1/2** de ellas los caudales diarios con frecuencia de 80% superan el 5% del respectivo q_3 pero ninguna supera el 10% de dicho valor;
- en **1/2** de las estaciones los caudales diarios con frecuencia de 60% superan el 10% del q_3 .



Figura

11 – Frecuencias de caudales diarios como fracción de los promedios estacionales (1980-2010)
Estaciones hidrométricas del Servicio Hidrológico

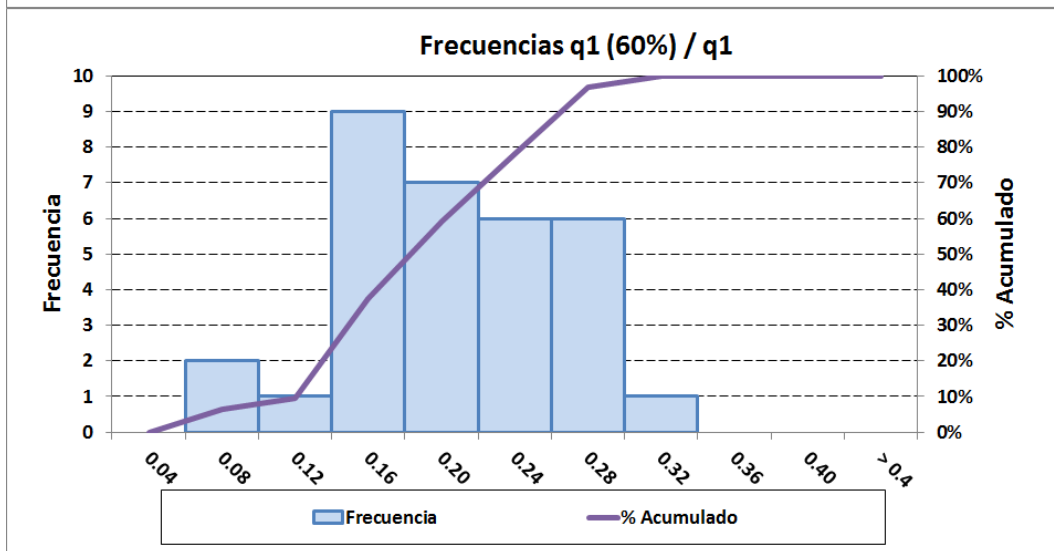
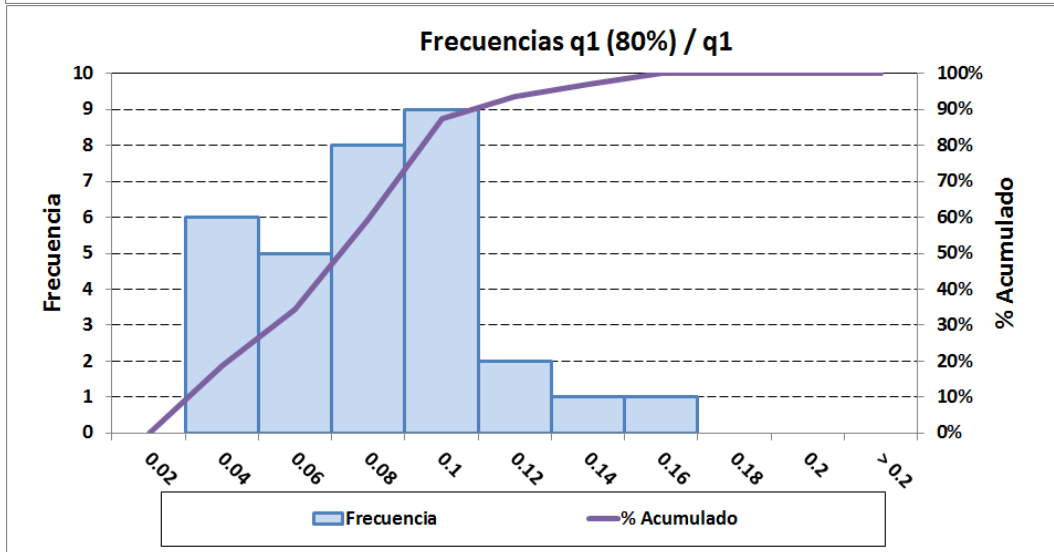
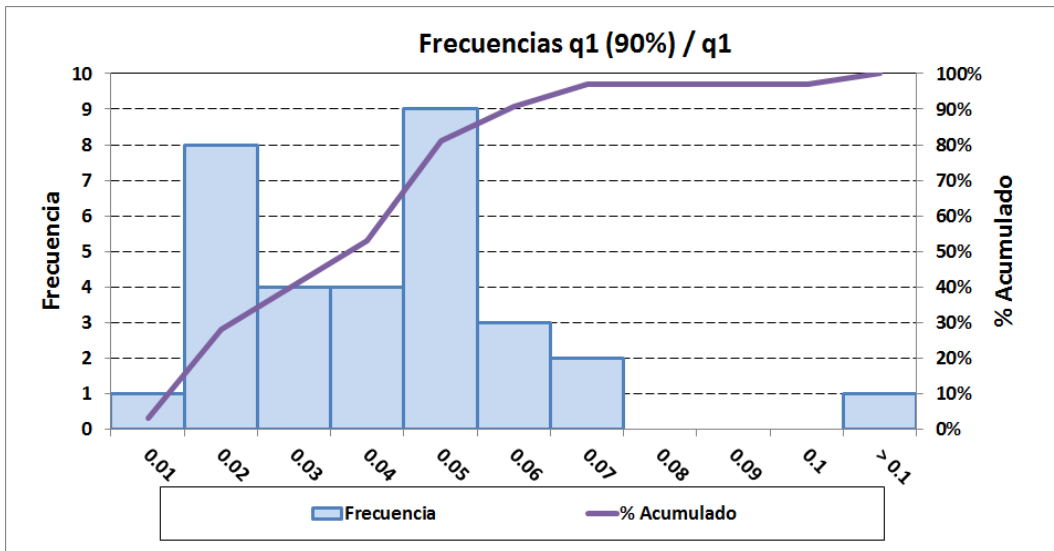


Figura 12 – Histogramas de $q_1 (FF\%) / q_1 (1980-2010)$

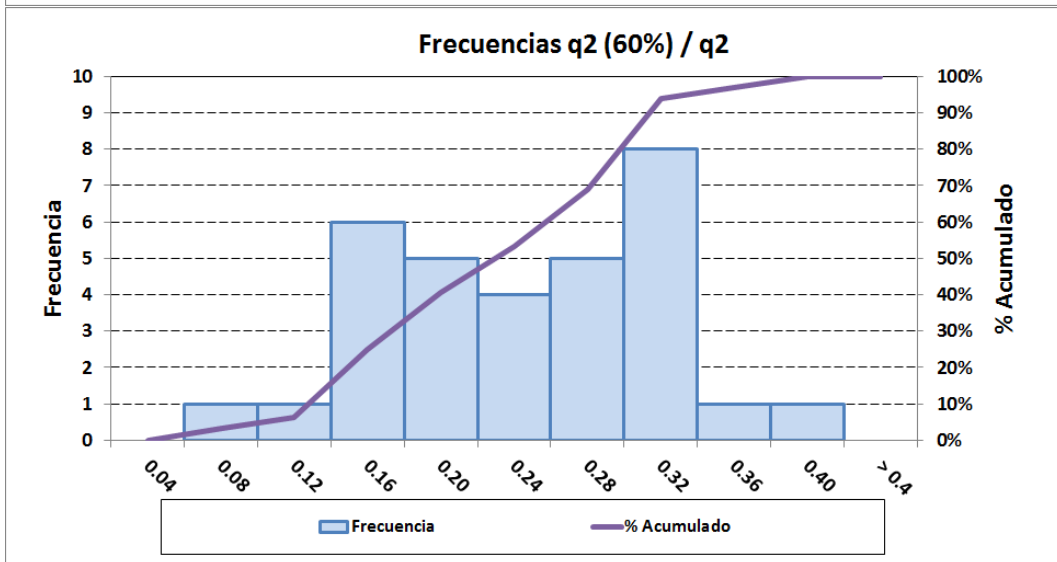
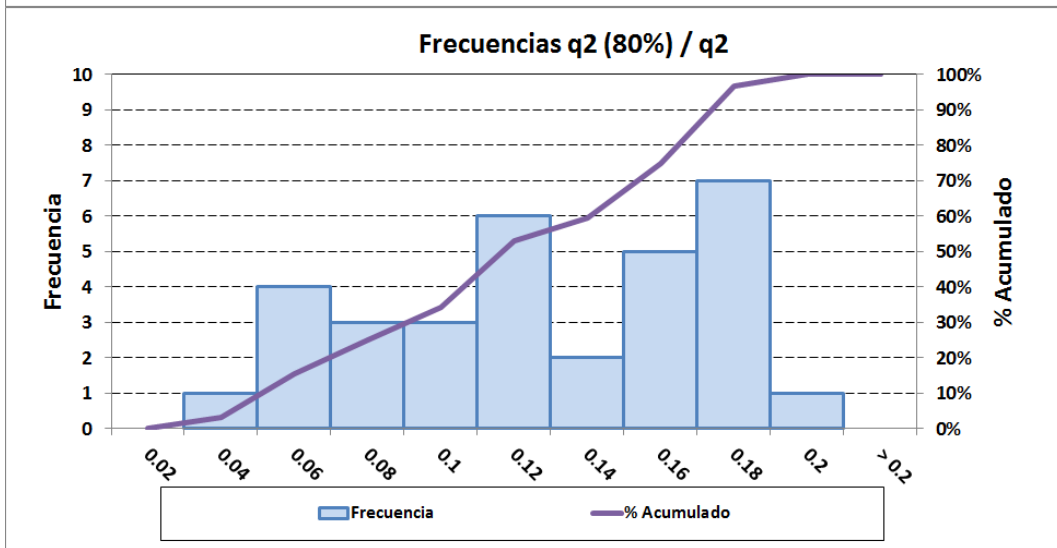
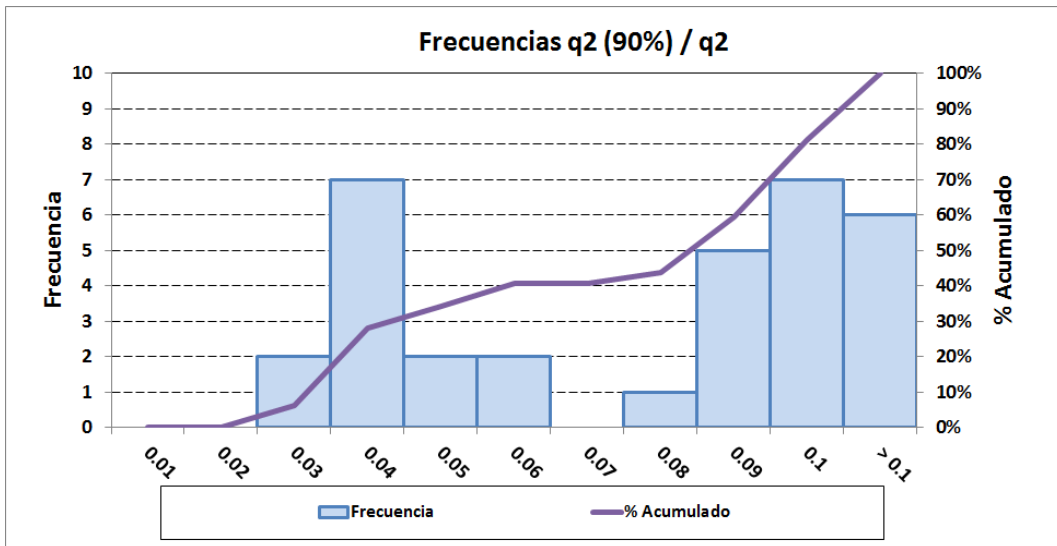


Figura 13 – Histogramas de $q_2 (FF\%) / q_2 (1980-2010)$

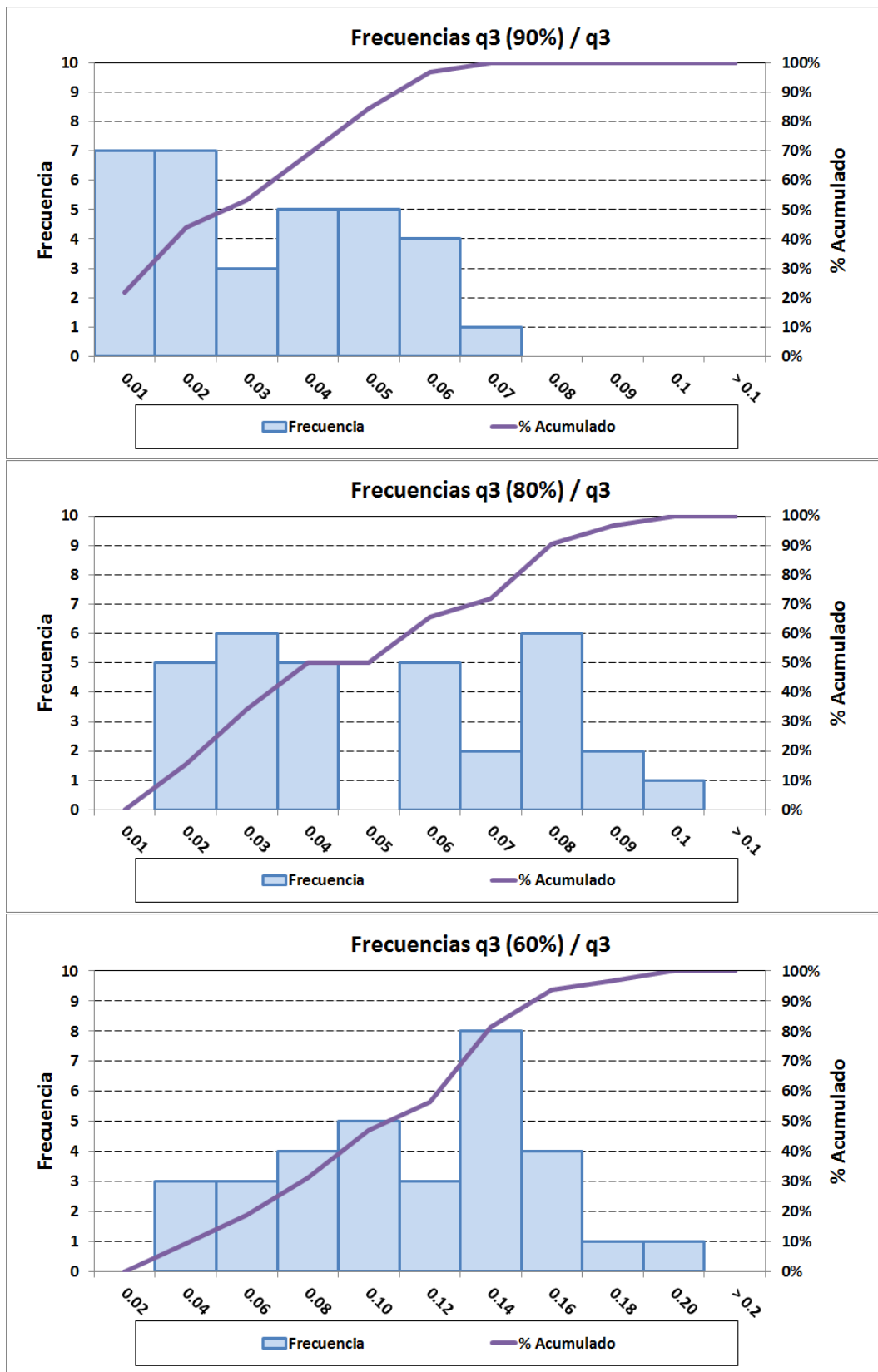


Figura 14 – Histogramas de $q_3 (FF\%) / q_3 (1980-2010)$

3. CORRELACIONES ENTRE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE CAUDALES ANUALES Y ESTACIONALES

En los siguientes apartados se analizan diferentes relaciones numéricas entre parámetros estadísticos de las estaciones hidrométricas seleccionadas para este estudio. En todos los casos, cada punto en los gráficos corresponde a una misma estación hidrométrica y sus coordenadas son los valores calculados de los parámetros estadísticos comparados dos a dos. Los gráficos muestran los ajustes de correlación por regresión lineal.

3.1. Caudal medio anual vs. Caudal medio de verano

De cada estación se determinaron los caudales específicos medios estacionales de verano q_3 (diciembre a marzo) para compararlos con los respectivos promedios anuales q (ver Figura 15). Aún siendo el coeficiente de correlación de la regresión lineal bastante bajo ($R^2 = 0.57$), igualmente vuelve a concluirse por este análisis que la proporción entre los caudales específicos medios de verano y los anuales en una misma estación está en el entorno de 60%, con un rango observado de entre 40 y 85%.

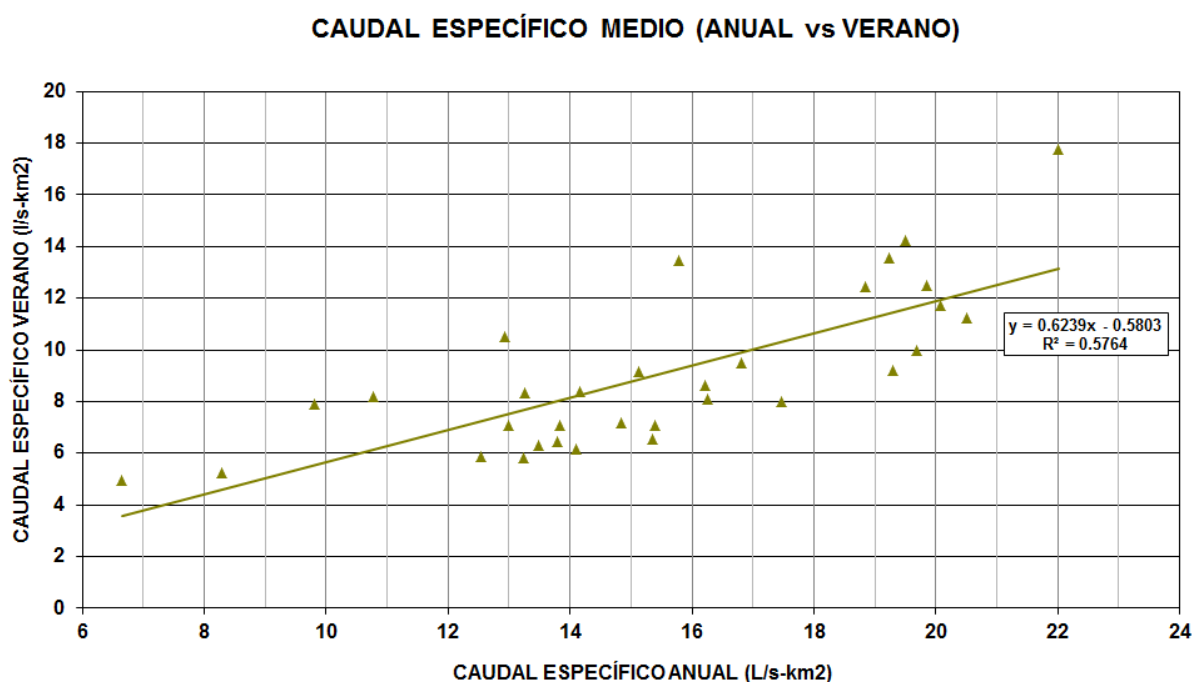


Figura 15 – Correlación q_3 vs q (1980-2010)
Estaciones hidrométricas del Servicio Hidrológico

3.2. Frecuencia diaria 90% (año hidrológico) vs. Frecuencias diarias 60%, 80% y 90% (en verano)

El estadístico de caudales medios diarios con 90% de frecuencia en años hidrológicos completos ($q_{(90\%)}$) suele aparecer en la literatura especializada como un estimador de los llamados caudales de “estiaje”, de igual manera que q_3 (80%) se ha utilizado ampliamente a nivel nacional como referencia para evaluar la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales para fines de aprovechamiento. En este informe la descripción del comportamiento de los períodos de bajos caudales estacionales se completa considerando además los estadísticos q_3 (60%) y q_3 (90%).

La **Figura 16** muestra la relación entre los valores calculados de frecuencias diarias ($q_{(90\%)}$) y los de 60%, 80% y 90% de frecuencias diarias estacionales ($q_3(60\%)$, $q_3(80\%)$ y $q_3(90\%)$). Una correlación lineal simple entre los pares de datos $q_{(90\%)}$ y $q_3(FF\%)$ produce ajustes bastante significativos:

$$R^2 = 0.74 \text{ para } q_3(60\%)$$

$$R^2 = 0.87 \text{ para } q_3(80\%)$$

$$R^2 = 0.80 \text{ para } q_3(90\%)$$

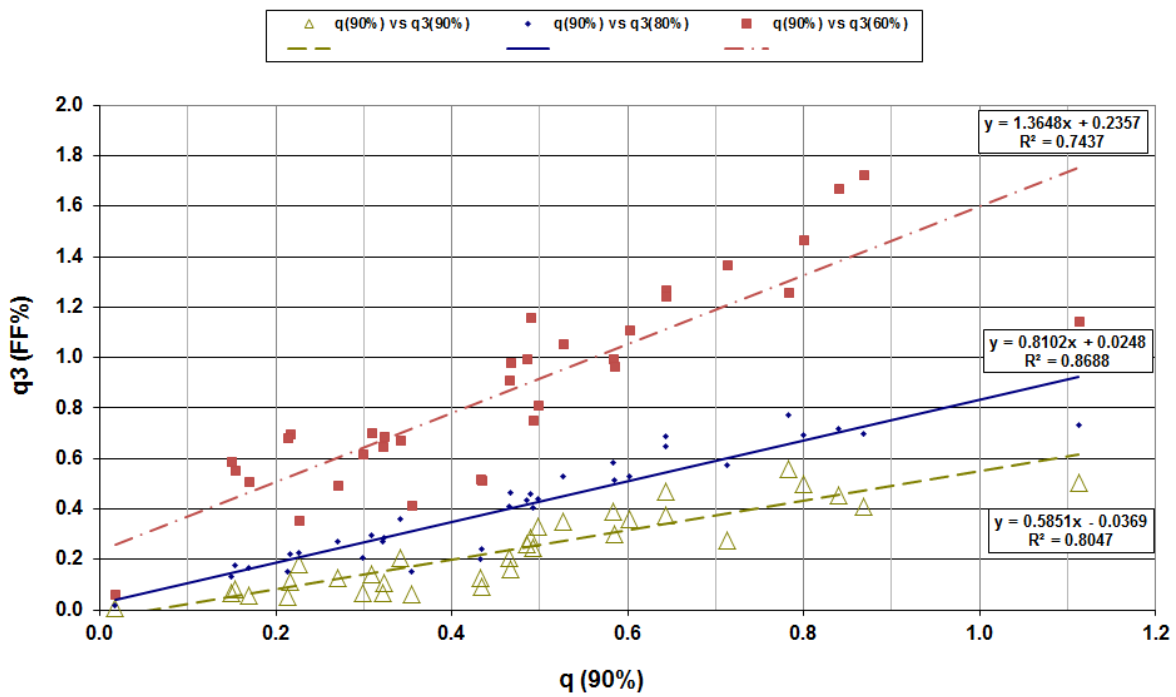


Figura 16 - Correlaciones $q_3(FF\%)$ vs $q_{(90\%)}$ (1980-2010)
Estaciones hidrométricas del Servicio Hidrológico

3.3. Mínimos anuales de promedios móviles vs. Frecuencias diarias de 60%, 80% y 90% (en verano)

Las curvas de frecuencia de por sí no permiten distinguir la duración de los eventos porque solamente cuentan cada día como un caso aislado. Sin embargo, los hidrogramas de caudales se presentan naturalmente en sucesiones continuas de varios días con valores cercanos y no como eventos dispersos. La persistencia o prolongación de eventos deficitarios (“rachas”) con respecto a un umbral predeterminado se caracteriza mejor con estadísticas derivadas de promedios móviles de **N** días consecutivos.

Se determinaron varias correlaciones entre los caudales mínimos de rachas de distintas duraciones **N** (días) y recurrencias **T** (años) y los de frecuencias diarias de 60%, 80% y 90% en verano. (Ver **Anexo IV**)

Las comparaciones que resultaron con mejores coeficientes de correlación con recurrencias de 2, 5 y 10 años para $q_3(90\%)$ se muestran en la **Figura 17**; para $q_3(80\%)$ en la **Figura 18** y para $q_3(60\%)$ en la **Figura 19**.

En base a dichas correlaciones pueden deducirse las siguientes equivalencias aproximadas:

$q_3(90\%) \approx 0.85 \times q_3(7,2)$	$q_3(80\%) \approx 1.00 \times q_3(15,2)$	$q_3(60\%) \approx 1.50 \times q_3(30,2)$
$\approx 1.15 \times q_3(30,5)$	$\approx 1.55 \times q_3(30,5)$	$\approx 2.15 \times q_3(60,5)$
$\approx 1.50 \times q_3(30,10)$	$\approx 1.45 \times q_3(60,10)$	$\approx 3.10 \times q_3(60,10)$

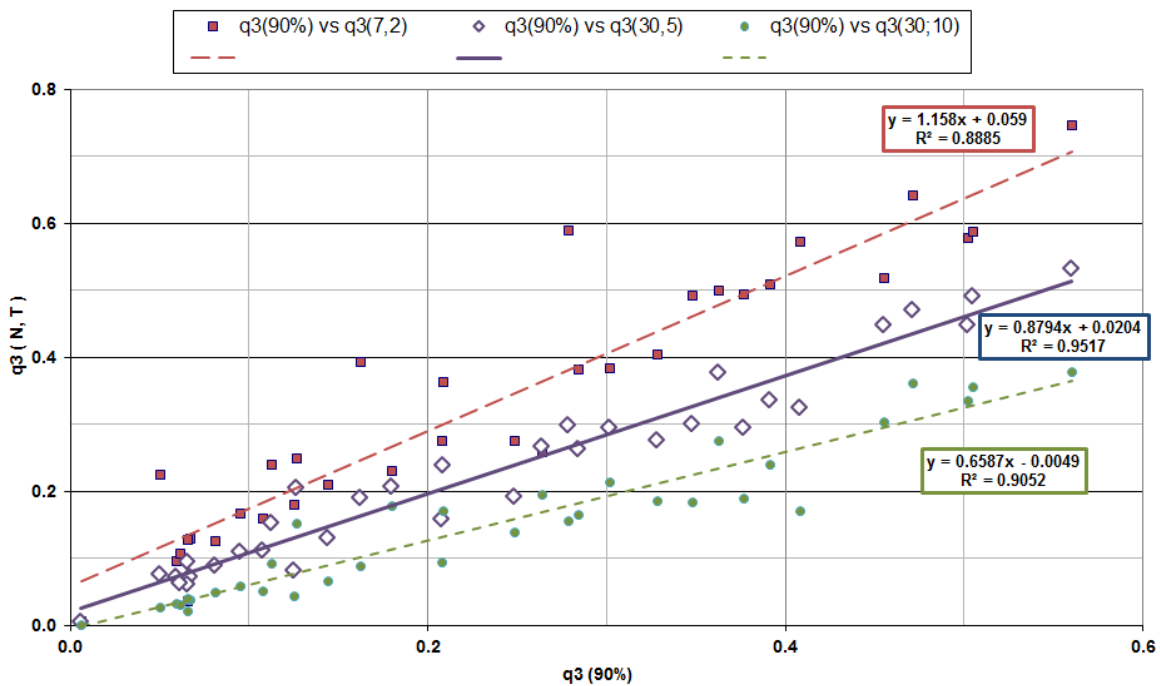


Figura 17 - Correlaciones $q_3(N, T)$ vs $q_3(90\%)$ (1980-2010)

Estaciones hidrométricas del Servicio Hidrológico

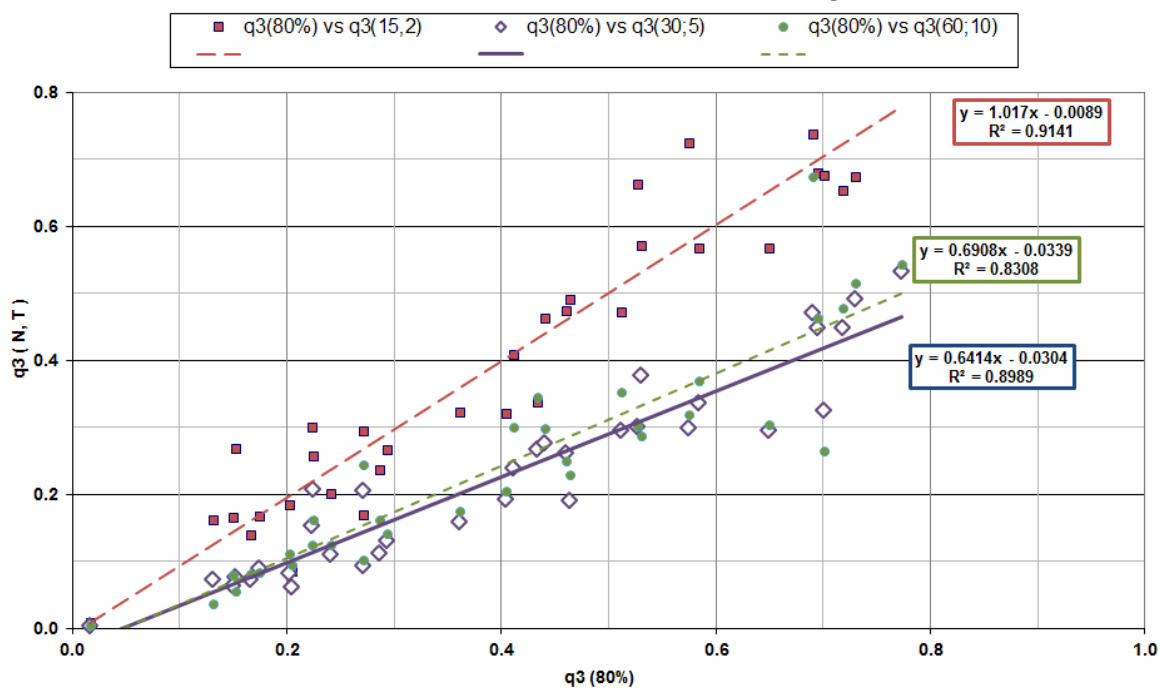


Figura 18 - Correlaciones $q_3(N, T)$ vs $q_3(80\%)$ (1980-2010)
Estaciones hidrométricas del Servicio Hidrológico

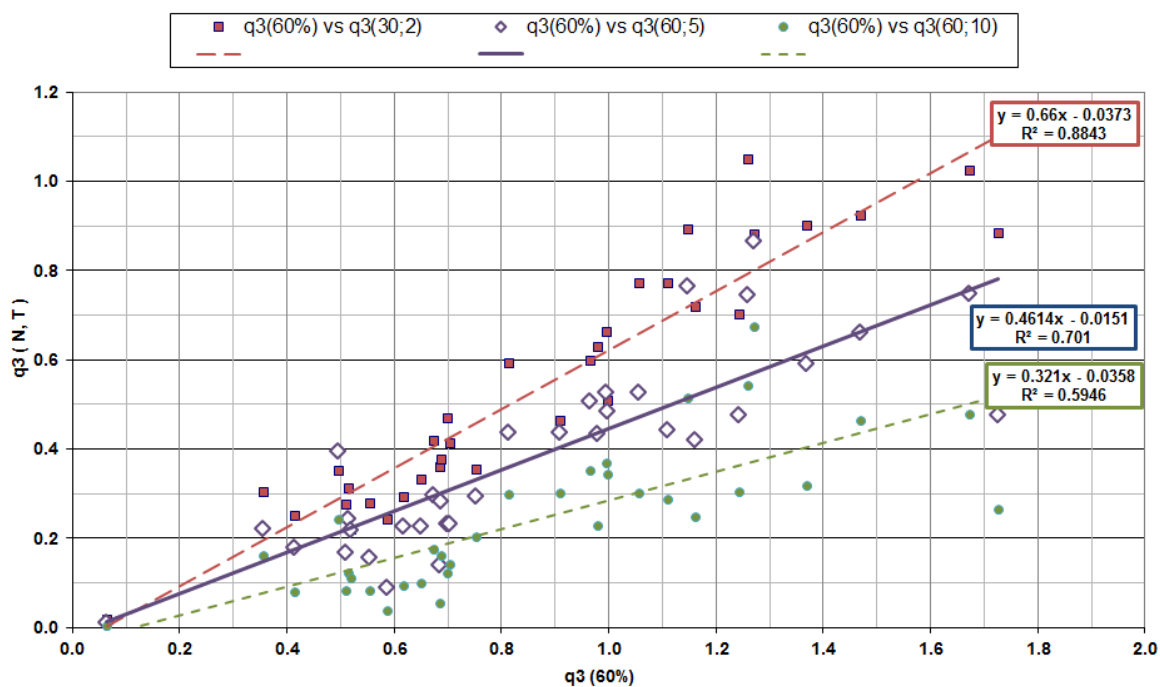


Figura 19 - Correlaciones $q_3(N, T)$ vs $q_3(60\%)$ (1980-2010)
Estaciones hidrométricas del Servicio Hidrológico

3.4. REGIONALIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS ESTACIONALIZADOS

Los resultados del Balance Hidrológico Superficial (DINAGUA 2014), fueron analizados en conjunto con las estadísticas derivadas de las estaciones hidrométricas en busca de patrones regionales de comportamiento hidrológico. Además del interés descriptivo, se busca relacionar estos parámetros estadísticos regionalizados con información de estaciones hidrométricas que pueda considerarse extrapolable a subcuencas no aforadas dentro de cada región, en particular en los períodos de estiajes.

Para investigar la existencia de regularidades regionales, a la vez que descontar eventuales particularidades locales, el análisis fue realizado con los datos estadísticos normalizados por los respectivos promedios anuales o estacionales:

$$\begin{aligned} & \text{caudal medio mensual } q_j / \text{caudal medio anual } q \\ & \text{frecuencia diaria estacional } q_{j(FF\%)} / \text{caudal medio estacional } q_j \end{aligned}$$

En el **Anexo II** se presenta la comparación de los ciclos medios anuales calculados para las series históricas en las estaciones hidrométricas seleccionadas con los ciclos medios calculados por el método de balance hidrológico, agrupados por subcuencas y regiones. Se puede concluir que en términos anuales y estacionales los ciclos determinados por ambos métodos son semejantes, a la vez que se verifica una razonable similitud en los comportamientos dentro de cada región.

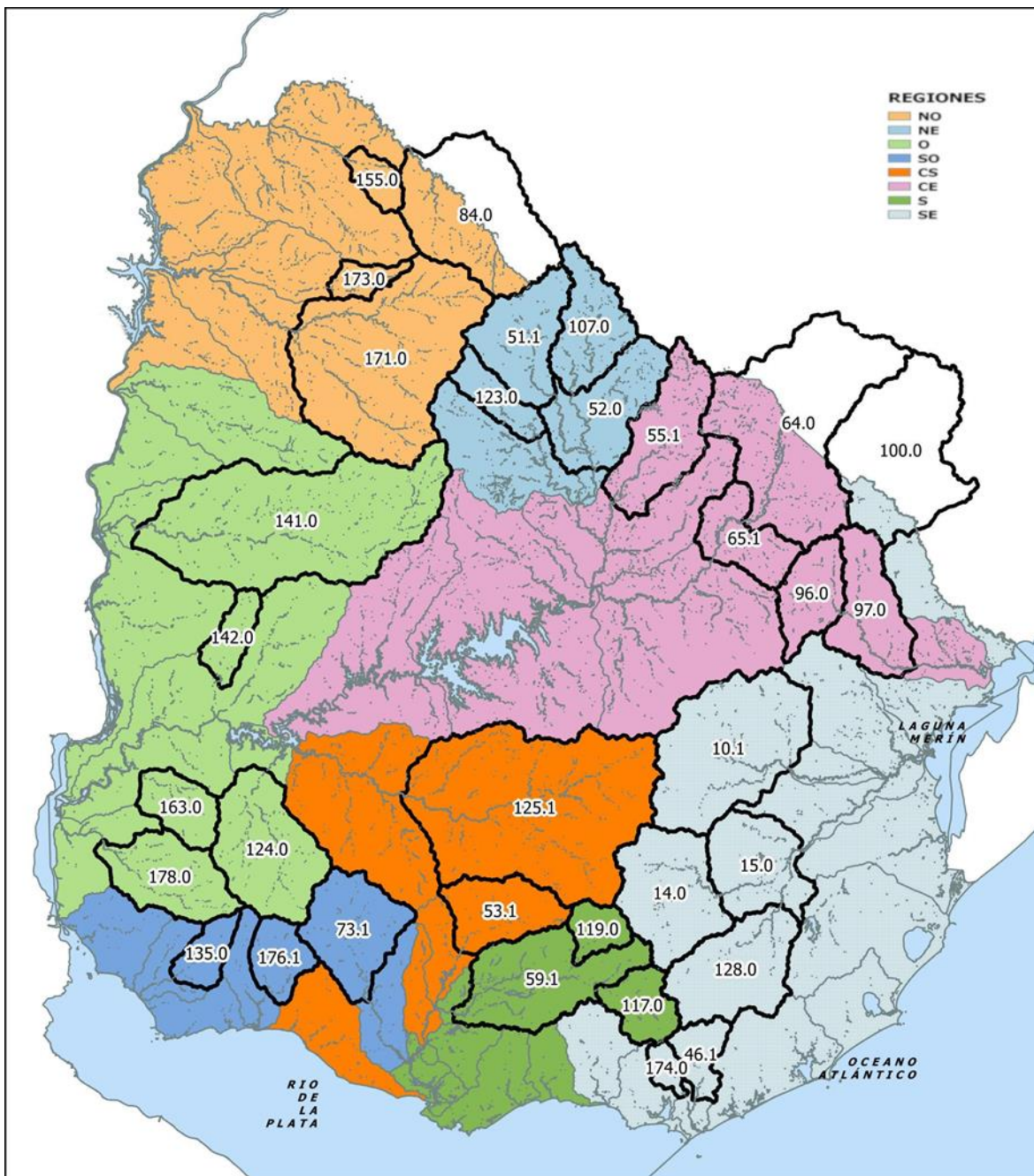
En base al mismo criterio de agrupación se compararon las curvas de frecuencias diarias normalizadas para cada cuatrimestre y se determinaron “curvas promedio” para cada región, calculadas como promedios ponderados por área (**Anexo III**).

Las regiones resultantes de este análisis se muestran en el mapa de la **Figura 20**, donde también se identifican las estaciones hidrométricas seleccionadas para el estudio con sus cuencas incrementales delimitadas. Para las subcuencas donde no se cuenta con estaciones hidrométricas la asignación a las distintas regiones se basó en la comparación de los ciclos medios anuales derivados del modelo de balance hidrológico.

Debe notarse que varias de las cuencas propias de las estaciones consideradas son solamente una fracción de la subcuenca a la que pertenece, por lo que la extrapolación de los resultados estadísticos en las estaciones a las subcuencas de nivel 2 debe realizarse con precaución.

En las **Figuras 21 a 23** se presenta la rama inferior (**FF** \geq 50%) de las curvas de frecuencias promediadas por cuatrimestre y por región, expresadas en caudales específicos normalizados.

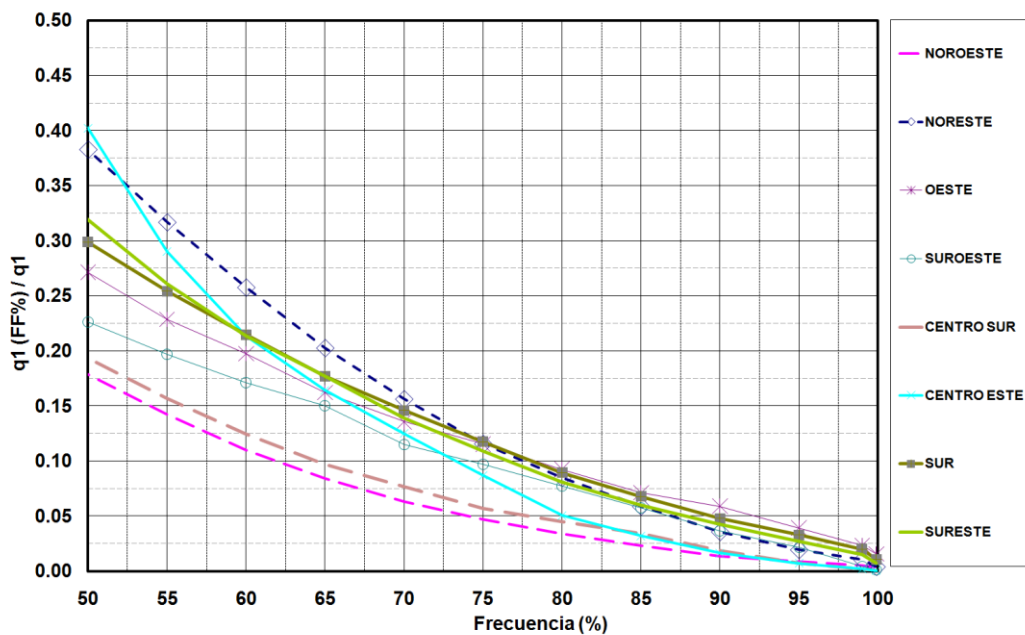
El **Anexo V** presenta un resumen de los resultados del balance hidrológico mensual (subcuencas nivel 2) utilizados para este estudio.



REGIÓN		ÁREA (km ²)	SUBCUENCAS NIVEL 2															
NO	NOROESTE	24304	10	11	12	13	14											
NE	NORESTE	10298	51	52														
O	OESTE	33536	15	16	17	18	19	57	58									
SO	SUROESTE	9443	20	21	22	23	65											
CS	CENTRO SUR	18820	24	56	61	62												
S	SUR	8853	26	27	60	63	64	66	67	68								
SE	SURESTE	34726	28	29	30	31	32	33	40	42	43	44	45					
CE	CENTRO ESTE	36416	41	50	53	54	55											

Figura 20 – Regionalización de estadísticas hidrométricas
Nivel 2 de codificación de subcuencas

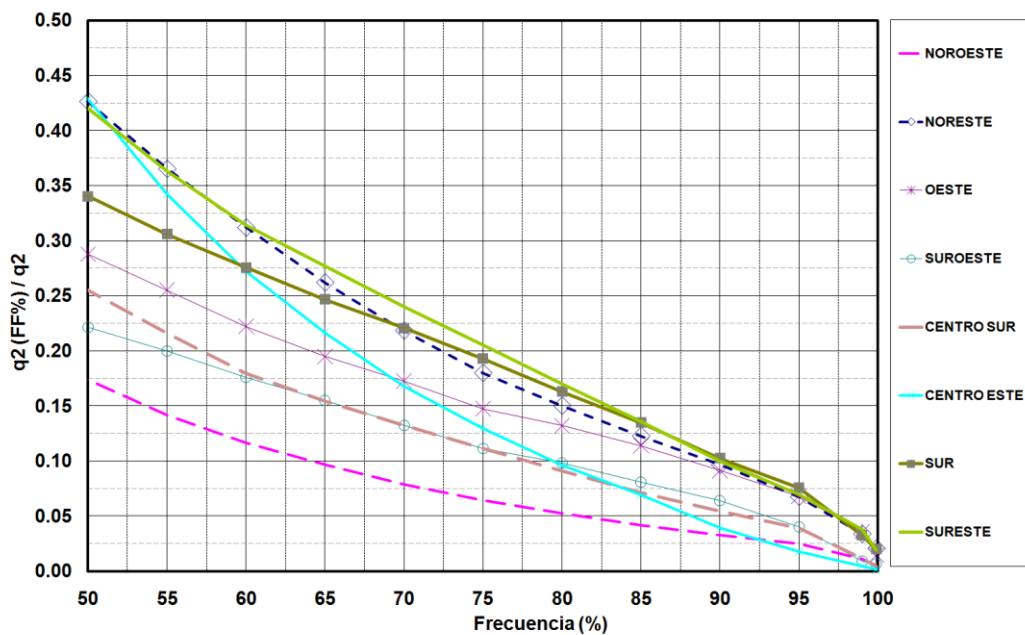
ABR - JUL (1980 - 2010)
 PROMEDIOS PONDERADOS POR REGIONES



Frecuencia (%)	q1 (FF%) / q1							
	NOROESTE	NORESTE	OESTE	SUROESTE	CENTRO SUR	CENTRO ESTE	SUR	SURESTE
0.1	45.863	15.419	19.331	27.515	24.671	20.578	22.293	21.679
1	15.284	7.818	10.528	15.377	10.115	7.456	12.395	10.022
5	4.345	4.069	4.876	4.798	5.052	3.913	4.522	4.238
10	2.214	2.728	2.707	2.281	2.965	2.694	2.305	2.666
15	1.285	2.032	1.684	1.114	1.790	2.063	1.447	1.812
20	0.877	1.623	1.185	0.695	1.193	1.628	1.021	1.312
25	0.628	1.282	0.900	0.501	0.831	1.340	0.792	0.988
30	0.473	1.008	0.675	0.409	0.601	1.114	0.626	0.778
35	0.362	0.767	0.510	0.341	0.442	0.883	0.511	0.602
40	0.288	0.598	0.391	0.294	0.327	0.678	0.419	0.471
45	0.226	0.476	0.321	0.264	0.246	0.527	0.351	0.386
50	0.179	0.383	0.271	0.226	0.193	0.402	0.299	0.319
55	0.142	0.317	0.229	0.197	0.157	0.290	0.254	0.261
60	0.110	0.258	0.197	0.171	0.124	0.213	0.215	0.214
65	0.084	0.203	0.162	0.150	0.097	0.164	0.177	0.177
70	0.063	0.156	0.136	0.115	0.077	0.125	0.146	0.139
75	0.047	0.116	0.115	0.097	0.057	0.087	0.117	0.109
80	0.034	0.085	0.092	0.077	0.045	0.051	0.089	0.081
85	0.023	0.059	0.071	0.058	0.034	0.032	0.068	0.060
90	0.014	0.036	0.059	0.037	0.018	0.016	0.048	0.043
95	0.009	0.019	0.039	0.022	0.007	0.007	0.033	0.027
99	0.005	0.010	0.023	0.004	0.002	0.002	0.020	0.015
99.9	0.003	0.004	0.016	0.001	0.000	0.001	0.011	0.007

Figura 21 – Regionalización de estadísticas hidrométricas
Frecuencias de caudales específicos estacionales normalizados (ABR-JUL)

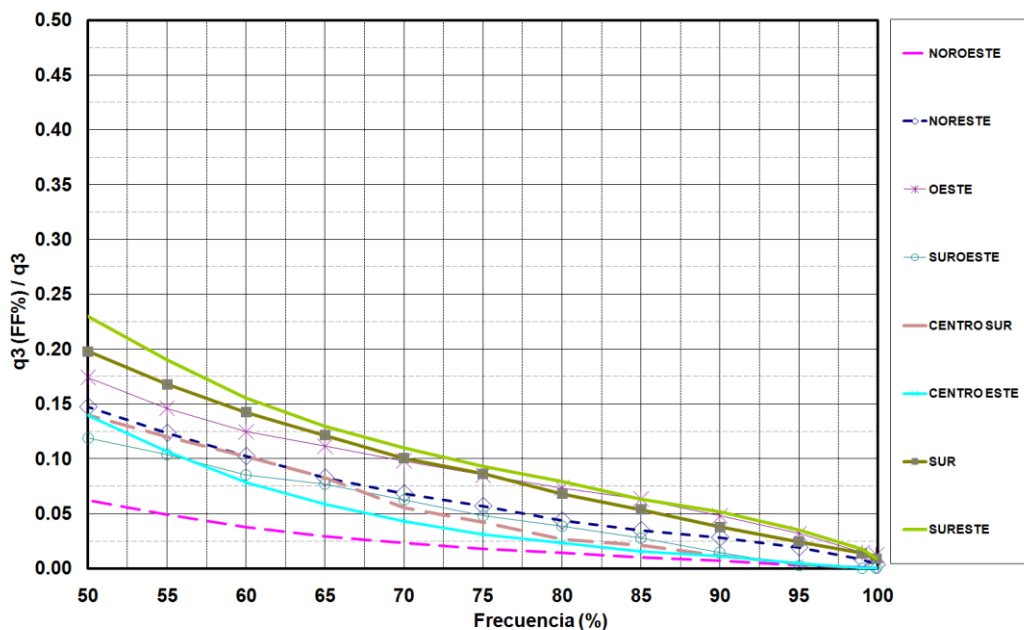
AGO - NOV (1980 - 2010)
 PROMEDIOS PONDERADOS POR REGIONES



Frecuencia (%)	q2 (FF%) / q2							
	NOROESTE	NORESTE	OESTE	SUROESTE	CENTRO SUR	CENTRO ESTE	SUR	SURESTE
0.1	24.928	14.192	17.156	27.059	19.050	15.181	28.704	20.162
1	15.233	6.906	10.476	15.654	11.568	7.685	11.722	9.027
5	5.314	3.981	4.911	4.602	4.592	3.895	4.305	3.992
10	2.204	2.751	2.722	2.217	2.491	2.666	2.117	2.360
15	1.245	2.083	1.751	1.147	1.635	1.958	1.336	1.695
20	0.796	1.598	1.209	0.678	1.139	1.523	0.947	1.265
25	0.582	1.223	0.872	0.482	0.838	1.240	0.754	1.002
30	0.451	0.942	0.634	0.385	0.626	1.002	0.620	0.807
35	0.350	0.758	0.483	0.325	0.485	0.816	0.518	0.668
40	0.277	0.618	0.392	0.280	0.387	0.658	0.444	0.567
45	0.218	0.506	0.332	0.252	0.313	0.527	0.385	0.487
50	0.174	0.426	0.288	0.222	0.255	0.429	0.340	0.420
55	0.141	0.365	0.255	0.200	0.216	0.342	0.306	0.363
60	0.116	0.312	0.222	0.176	0.179	0.272	0.276	0.314
65	0.097	0.262	0.195	0.155	0.154	0.216	0.247	0.277
70	0.079	0.218	0.172	0.132	0.132	0.168	0.221	0.240
75	0.064	0.180	0.147	0.111	0.111	0.130	0.193	0.205
80	0.052	0.150	0.132	0.098	0.091	0.096	0.163	0.170
85	0.041	0.123	0.114	0.081	0.071	0.069	0.135	0.136
90	0.033	0.096	0.091	0.064	0.054	0.039	0.103	0.100
95	0.025	0.067	0.068	0.040	0.039	0.018	0.076	0.069
99	0.011	0.034	0.036	0.009	0.011	0.005	0.032	0.038
99.9	0.004	0.020	0.015	0.007	0.004	0.001	0.020	0.019

Figura 22 – Regionalización de estadísticas hidrométricas
Frecuencias de caudales específicos estacionales normalizados (AGO-NOV)

DIC - MAR (1980 - 2010)
 PROMEDIOS PONDERADOS POR REGIONES



Frecuencia (%)	q3 (FF%) / q3							
	NOROESTE	NORESTE	OESTE	SUROESTE	CENTRO SUR	CENTRO ESTE	SUR	SURESTE
0.1	43.716	27.352	30.167	65.015	62.636	36.713	52.466	58.311
1	18.088	12.466	14.333	22.575	17.992	13.367	20.045	13.696
5	5.292	5.203	5.516	3.373	4.449	5.186	3.366	4.062
10	2.135	2.956	2.448	1.115	1.796	2.634	1.587	1.981
15	1.042	1.528	1.404	0.586	0.978	1.553	0.939	1.232
20	0.603	1.007	0.801	0.417	0.562	1.019	0.674	0.841
25	0.388	0.647	0.540	0.320	0.401	0.650	0.526	0.655
30	0.248	0.435	0.388	0.254	0.299	0.463	0.413	0.522
35	0.163	0.309	0.303	0.205	0.264	0.336	0.332	0.422
40	0.116	0.235	0.245	0.168	0.205	0.250	0.281	0.339
45	0.085	0.181	0.209	0.142	0.171	0.181	0.235	0.275
50	0.062	0.147	0.174	0.119	0.140	0.140	0.198	0.230
55	0.049	0.123	0.146	0.104	0.120	0.107	0.168	0.190
60	0.038	0.102	0.125	0.085	0.102	0.079	0.142	0.155
65	0.029	0.083	0.111	0.077	0.083	0.059	0.121	0.130
70	0.023	0.068	0.098	0.062	0.055	0.043	0.100	0.110
75	0.018	0.057	0.085	0.048	0.042	0.031	0.086	0.093
80	0.014	0.044	0.074	0.039	0.026	0.023	0.068	0.079
85	0.010	0.035	0.063	0.028	0.021	0.015	0.054	0.063
90	0.007	0.028	0.048	0.015	0.012	0.011	0.038	0.051
95	0.003	0.019	0.032	0.002	0.004	0.005	0.024	0.035
99	0.001	0.008	0.014	0.000	0.000	0.001	0.014	0.018
99.9	0.001	0.003	0.013	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009

Figura 23 – Regionalización de estadísticas hidrométricas
Frecuencias de caudales específicos estacionales normalizados (DIC-MAR)

4. CONCLUSIONES

Se han encontrado relaciones numéricas bastante estables entre parámetros estadísticos de caudales de las estaciones hidrométricas del Servicio Hidrológico considerando tanto factores estacionales como regionales, lo que a cierta escala de trabajo permite hacer una estimación de dichos parámetros para cuencas no aforadas. Más allá de las diferencias numéricas individuales y de algunos casos singulares que, según el tipo de estadística considerada, podrían ubicarse indistintamente en una u otra región vecina, las similitudes halladas son bastante consistentes en todas las regiones definidas y permiten asumir la existencia de patrones homogéneos de comportamiento hidrológico.

Una forma de extrapolar los estadísticos calculados a cuencas no aforadas es estimar previamente los caudales medios estacionales de la subcuenca de interés, por ejemplo a partir de los valores estacionales de la tabla del **Anexo V** (o utilizar información generada localmente con otros métodos si es que se la considera de mejor precisión o detalle) y aplicar el estadístico normalizado correspondiente. De esta manera, dentro de cada región se obtiene un rango de valores válidos para los caudales específicos $q_{j(FF\%)}$ y no un único valor fijo regional. La utilización de un valor único regional, determinado por ejemplo a partir de promedios de caudales estacionales de una región más amplia, podría también resultar aceptable para algunas aplicaciones o estudios más generales, aunque con una mayor incertidumbre asociada.

Los resultados de la aproximación sugerida en el párrafo anterior se presentan en los mapas de las figuras siguientes. La **Figura 24** presenta los escurrimientos medios estacionales E_j calculados por el modelo de balance hidrológico para subcuencas de nivel 2. Los mapas de la **Figura 25** muestran la distribución geográfica de los valores estimados de $q_{j(90\%)}$ a partir de los estadísticos normalizados $q_{j(90\%)} / q_j$ hallados para cada región. Para el primer cuatrimestre los valores de $q_{j(90\%)}$ están entre 1.5 % y 6% del caudal específico medio estacional (0.15 a 1.1 L/s-km²); en el segundo entre 3.5% y 10% (0.35 a 2.1 L/s-km²) y en el tercero entre 0.7% y 5% (0.06 a 0.55 L/s-km²).

Por su parte la **Figura 26** muestra los mismos resultados para la estimación de $q_{j(80\%)}$ a partir de los estadísticos normalizados $q_{j(80\%)} / q_j$. Para el primer cuatrimestre los valores de $q_{j(80\%)}$ están entre 3.5 % y 9% del caudal específico medio estacional (0.3 a 2.15 L/s-km²); en el segundo entre 5% y 17% (0.6 a 3.5 L/s-km²) y en el tercero entre 1.4% y 8% (0.12 a 0.85 L/s-km²).

La **Figura 27** muestra los resultados de la estimación de $q_{j(60\%)}$ a partir $q_{j(60\%)} / q_j$. Para el primer cuatrimestre los valores de $q_{j(60\%)}$ están entre 11% y 25% del caudal específico medio estacional (0.65 a 5.6 L/s-km²); en el segundo entre 12% y 31% (1.3 a 6.4 L/s-km²) y en el tercero entre 3.8% y 16% (0.35 a 1.7 L/s-km²).

En el Capítulo 3 se ha mostrado que existe una correlación marcada entre los valores estadísticos de $q_{3(FF\%)}$ y otros estadísticos descriptivos del tipo $q_{j(N,T)}$, que no depende de la regionalización. Así, por ejemplo, para el tercer cuatrimestre (DIC-MAR) podrían utilizarse las estimaciones regionales de $q_{3(80\%)} / q_3$ de la **Figura 23** y las correlaciones de la **Figura 18** para deducir un valor aproximado para el estadístico $q_{3(30,5)}$ de una cuenca con valor conocido o estimado de q_3 .

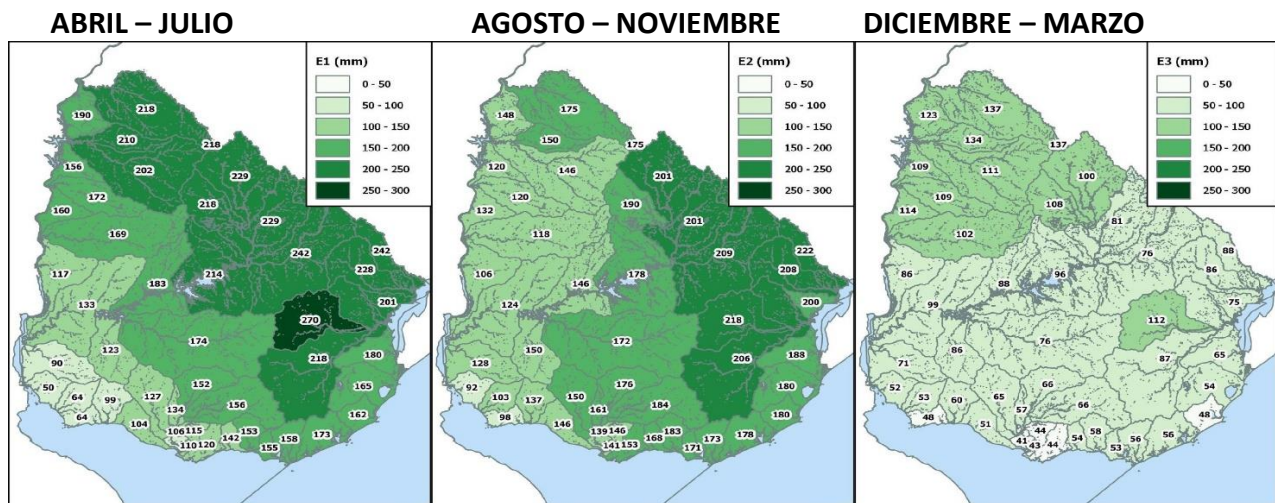


Figura 24 – Escurrimientos acumulados cuatrimestrales (mm)

Nivel 2 de codificación de subcuencas (Balance Hidrológico Superficial DINAGUA 2014)

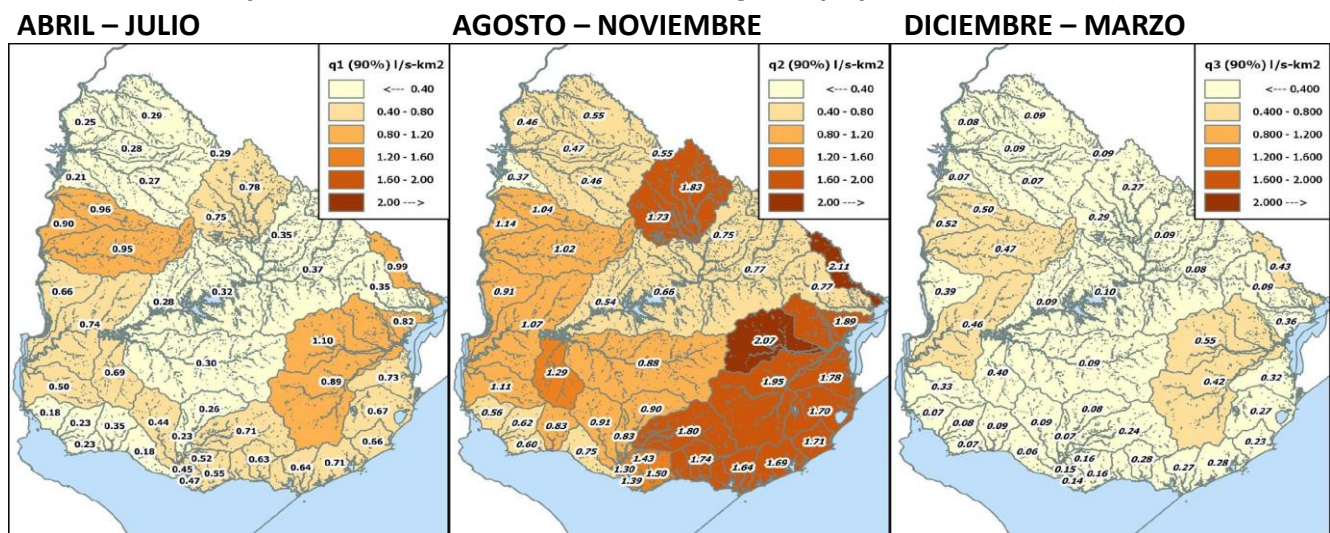


Figura 25 – Regionalización de caudales específicos estacionales $q_j(90\%)$

Nivel 2 de codificación de subcuencas

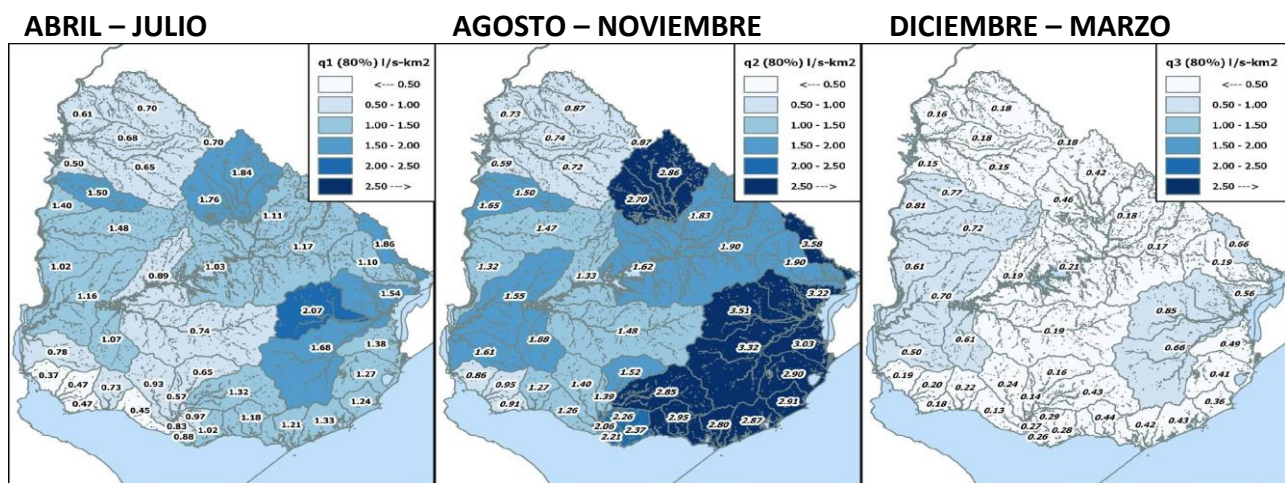


Figura 26 – Regionalización de caudales específicos estacionales $q_j(80\%)$

Nivel 2 de codificación de subcuencas

ABRIL – JULIO

AGOSTO – NOVIEMBRE

DICIEMBRE – MARZO

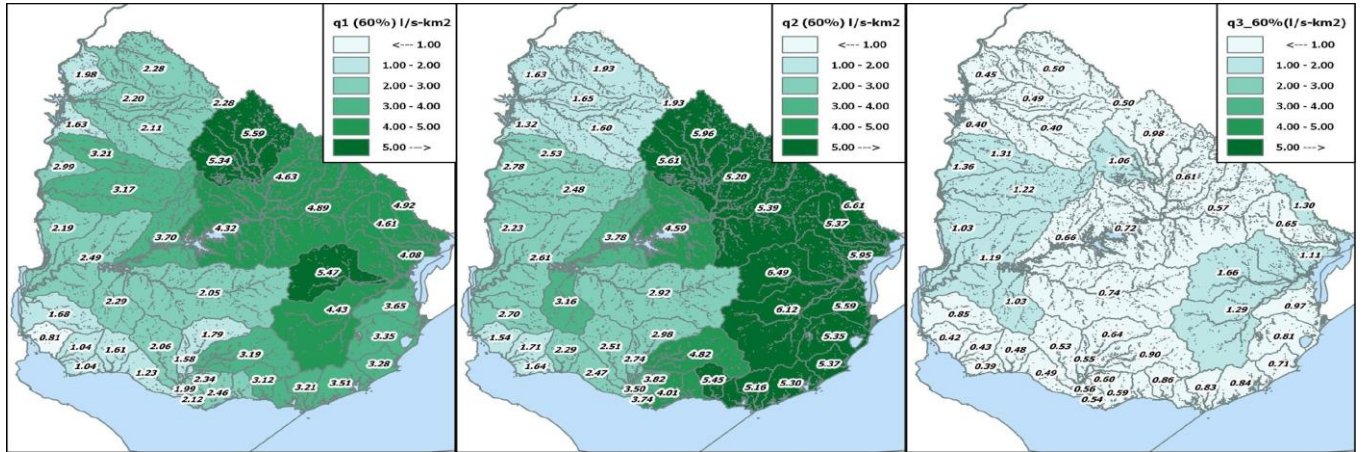


Figura 27 – Regionalización de caudales específicos estacionales $q_j(60\%)$
Nivel 2 de codificación de subcuencas

ANEXOS

Montevideo, mayo de 2019

ANEXO I

CODIFICACIÓN DE CUENCAS

La base del sistema de codificación es la subdivisión del territorio en seis cuencas principales, cada una de ellas subdividida en hasta diez subcuencas. En cada una de estas subcuencas se identificaron hasta diez cursos o tramos de cursos considerados de mayor importancia para definir nuevas subdivisiones. El procedimiento podría continuar sucesivamente hasta el grado de detalle que sea de interés.

Es importante tener en cuenta que el concepto de “nivel” utilizado en este sistema de codificación no deriva de consideraciones hidromorfológicas y no debe ser confundido con conceptos como “orden” o “tipología” hidrológica o hidráulica.

El criterio de numeración de los tramos codificados en cada nivel fue asignar los códigos en forma creciente de aguas arriba a aguas abajo. De esta manera, de dos cursos pertenecientes a una misma subcuenca el que tenga su código más alto será el que esté ubicado más aguas abajo en la cuenca común.

Por otra parte, en cualquier nivel se puede deducir que todas las subcuencas cuyos códigos comienzan con el mismo dígito pertenecen a la misma subcuenca del nivel superior.

El sistema de codificación geográfica hasta el 3er. nivel resulta en 296 polígonos cubriendo todo el territorio nacional (área promedio 600 km²). En la Figura I-1 se muestran los polígonos resultantes de esta codificación básica. Con los distintos colores se distinguen las seis cuencas principales (nivel 1); los contornos gruesos y los códigos de dos cifras identifican las subcuencas principales (nivel 2); y los contornos finos delimitan las cuencas de los tramos seleccionados como principales (nivel 3).

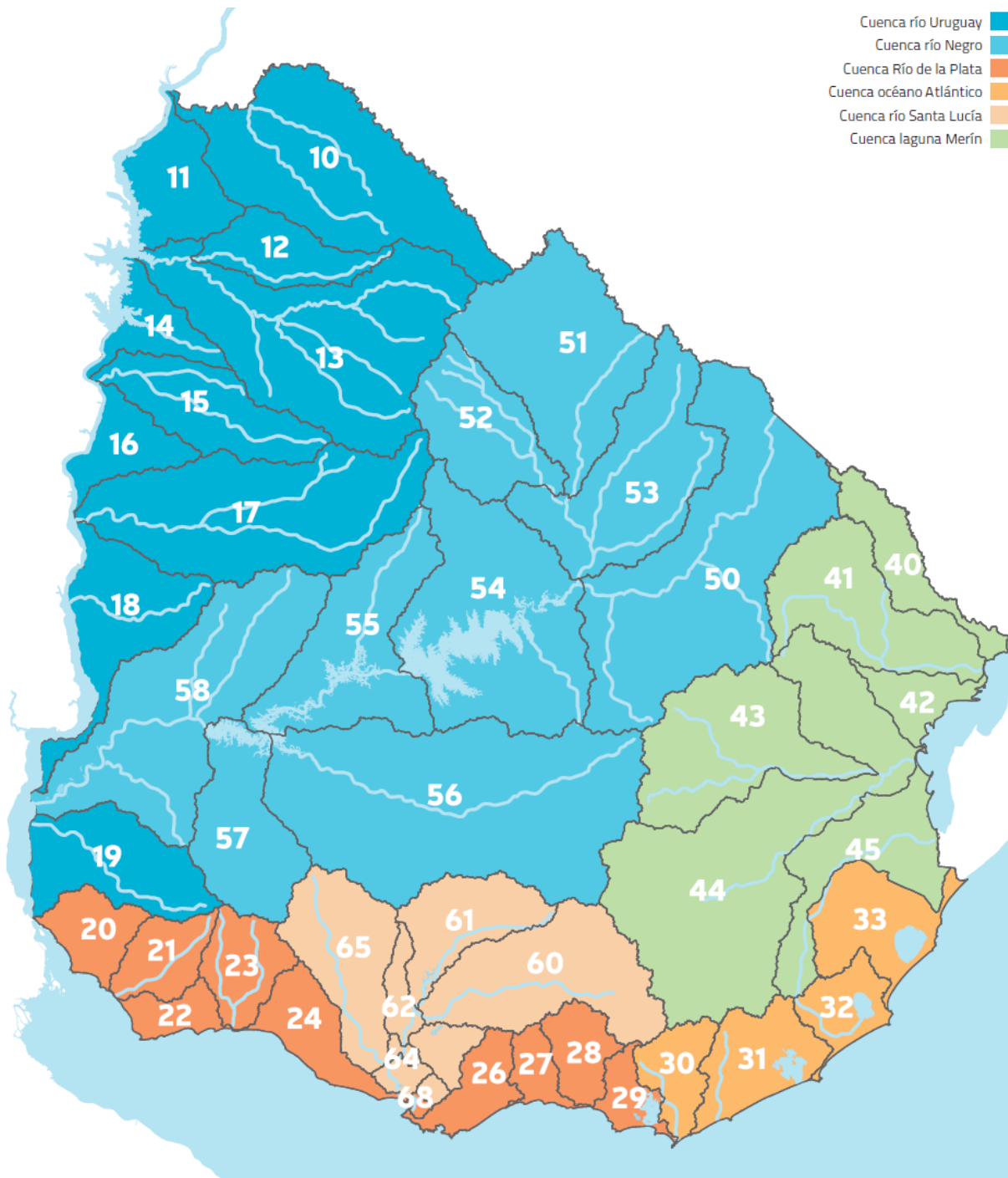
Las Tablas I-1 y I-2 detallan las definiciones de los códigos numéricos para las subcuencas de nivel 1 y 2 con sus respectivas áreas de cuenca incrementales dentro del territorio nacional. En el caso de la Tabla I-2 solo los cursos o tramos de curso escritos totalmente en mayúsculas están incluidos en la subcuenca correspondiente.

TABLA I-1 - CODIFICACIÓN DE CUENCAS NIVEL 1

C1	CUENCA PRINCIPAL (NIVEL 1)	ÁREA ^(*) (km ²)
1	Río Uruguay	45380.8
2	Río de la Plata	12142.3
3	Océano Atlántico	9269.8
4	Laguna Merín	27893.9
5	Río Negro	68221.0
6	Río Santa Lucía	13488.1

TABLA I-2 - CODIFICACIÓN DE CUENCAS NIVEL 2

C2	SUBCUENCA (NIVEL 2)	ÁREA ⁽¹⁾ (km²)
10	RÍO CUAREIM	8228.3
11	RÍO URUGUAY entre Río Cuareim y Río Arapey Grande	2580.9
12	RÍO ARAPEY CHICO	2154.8
13	RÍO ARAPEY GRANDE (excepto Río Arapey Chico)	9711.2
14	RÍO URUGUAY entre Río Arapey Grande y Río Daymán	1628.3
15	RÍO DAYMÁN	3419.7
16	RÍO URUGUAY entre Río Daymán y Río Quequay Grande	1716.3
17	RÍO QUEGUAY GRANDE	8559.9
18	RÍO URUGUAY entre Río Quequay Grande y Río Negro	3739.1
19	RÍO URUGUAY entre Río Negro y Río de la Plata	3642.2
20	RÍO DE LA PLATA entre Río Uruquay y Río San Juan	1521.6
21	RÍO SAN JUAN	1572.4
22	RÍO DE LA PLATA entre Río San Juan y Río Rosario	925.6
23	RÍO ROSARIO	1851.2
24	RÍO DE LA PLATA entre Río Rosario y Río Santa Lucía	1850.7
26	RÍO DE LA PLATA entre Río Santa Lucía y Ao. PANDO	1377.2
27	RÍO DE LA PLATA entre Ao. Pando y Ao. Solís Grande	798.9
28	Ao. SOLÍS GRANDE	1338.0
29	RÍO DE LA PLATA entre Ao. Solís Grande y Punta Del Este	906.9
30	OCEÁNICO ATLÁNTICO entre Punta del Este y Ao. MALDONADO	1493.3
31	OCEÁNICO ATLÁNTICO entre Ao. Maldonado y LAGUNA DE ROCHA	2545.3
32	OCEÁNICO ATLÁNTICO entre Laguna de Rocha y Ao. VALIZAS	1479.5
33	OCEÁNICO ATLÁNTICO entre Ao. Valizas y Ao. CHUY	3751.7
40	LAGUNA MERÍN entre RÍO YAGUARÓN y Río Tacuarí	1969.0
41	RÍO TACUARÍ	4681.9
42	LAGUNA MERÍN entre Río Tacuarí y Río Cebollatí	1220.9
43	RÍO OLIMAR GRANDE	5306.5
44	RÍO CEBOLLATÍ (excepto Río Olimar Grande)	12111.1
45	LAGUNA MERÍN entre Río Cebollatí y Ao. SAN MIGUEL	2604.4
50	RÍO NEGRO entre nacientes y Río Tacuarembó	11419.8
51	RÍO TACUAREMBÓ entre nacientes y Ao. Tacuarembó Chico	6804.5
52	Ao. TACUAREMBÓ CHICO	3493.9
53	RÍO TACUAREMBÓ entre Ao. Tacuarembó Chico y Río Negro	5975.4
54	RÍO NEGRO entre Río Tacuarembó y Rincón del Bonete	8847.5
55	RÍO NEGRO entre Rincón del Bonete y Río Yí	5491.1
56	RÍO YÍ	13730.1
57	RÍO NEGRO entre Río Yí y Rincón de Palmar	3799.5
58	RÍO NEGRO entre Rincón de Palmar y Río Uruguay	8659.1
60	RÍO SANTA LUCÍA entre nacientes y Río Santa Lucía Chico	5173.2
61	RÍO SANTA LUCÍA CHICO	2571.4
62	RÍO SANTA LUCÍA entre Río Santa Lucía Chico y Ao. Canelón Grande	667.8
63	Ao. CANELÓN GRANDE	724.4
64	RÍO SANTA LUCÍA entre Ao. Canelón Grande y Río San José	144.9
65	RÍO SAN JOSÉ	3571.9
66	RÍO SANTA LUCÍA entre Río San José y Ao. Colorado	369.1
67	Ao. COLORADO	164.9
68	RÍO SANTA LUCÍA entre Ao. Colorado y Río de la Plata	100.4



**Figura I-1.- Delimitación de cuencas codificadas hasta el Nivel 3
(Sistema 1987 adaptado y revisado en 2018)**

ANEXO II

REGIONALIZACIÓN DE CICLOS MEDIOS ANUALES DE CAUDALES

Las series de las estaciones hidrométricas seleccionadas y los resultados del modelo de balance hidrológico (Balance Hidrológico Superficial DINAGUA -2014) fueron procesados para calcular los ciclos medios anuales para cada estación y para cada subcuenca (nivel 2). En cuencas donde existe más de una estación hidrométrica sobre el mismo cauce principal se han determinado los caudales específicos correspondientes a las áreas incrementales.

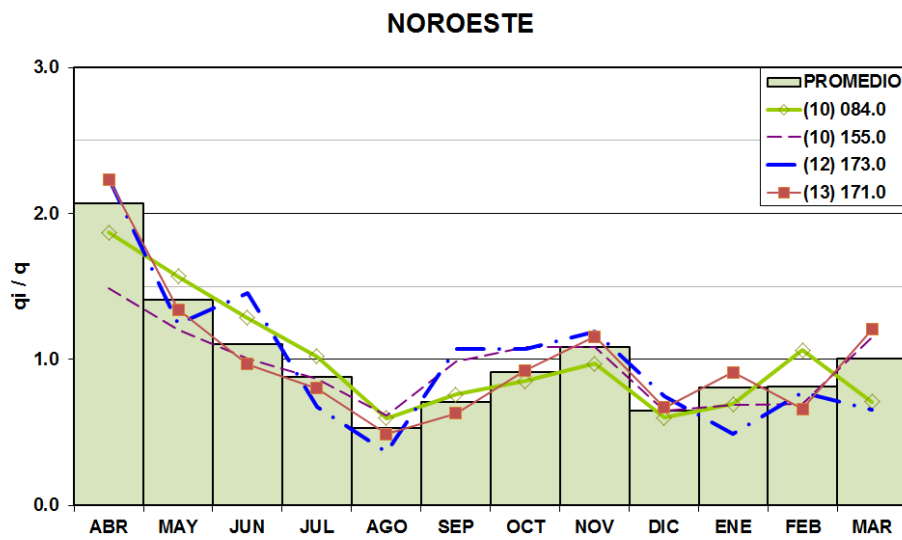
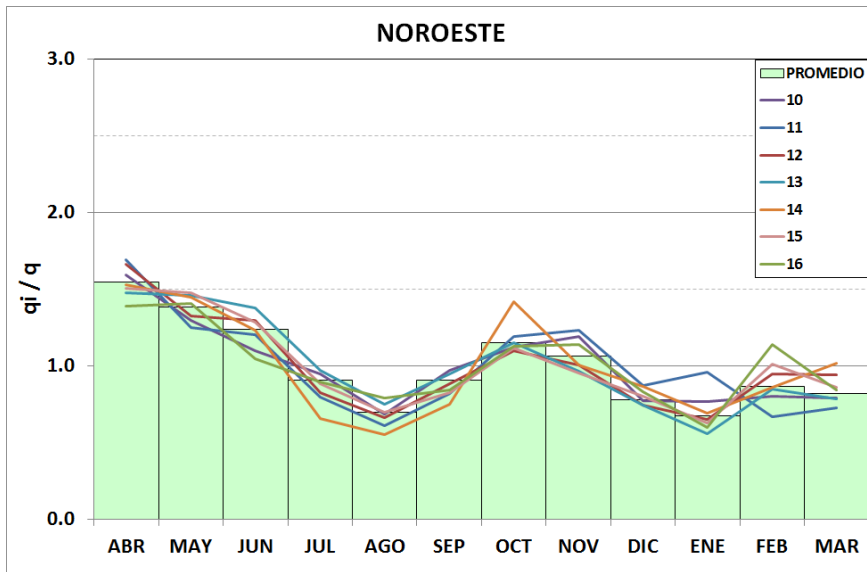
Para disminuir los efectos de escala (tamaños de cuenca) e investigar las posibles similitudes regionales los datos mensuales q_i de cada unidad territorial fueron normalizados por los respectivos promedios anuales q :

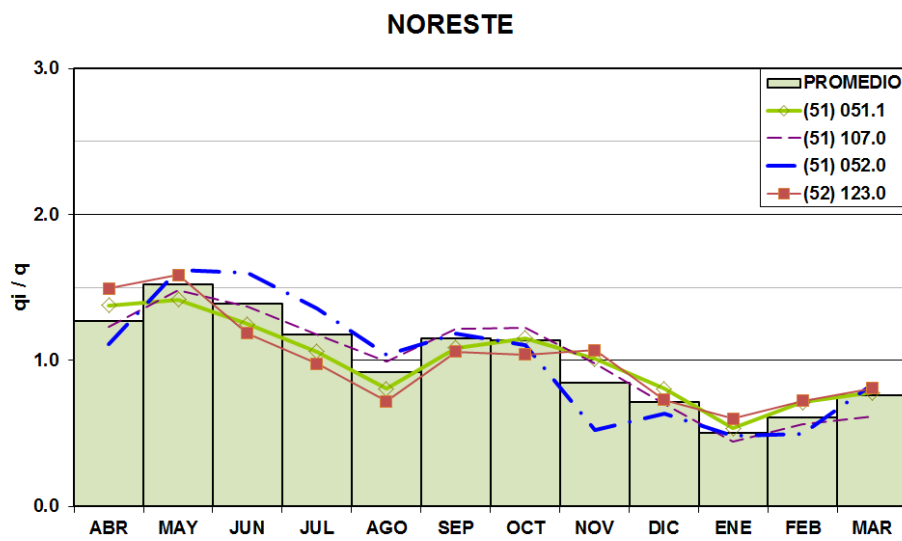
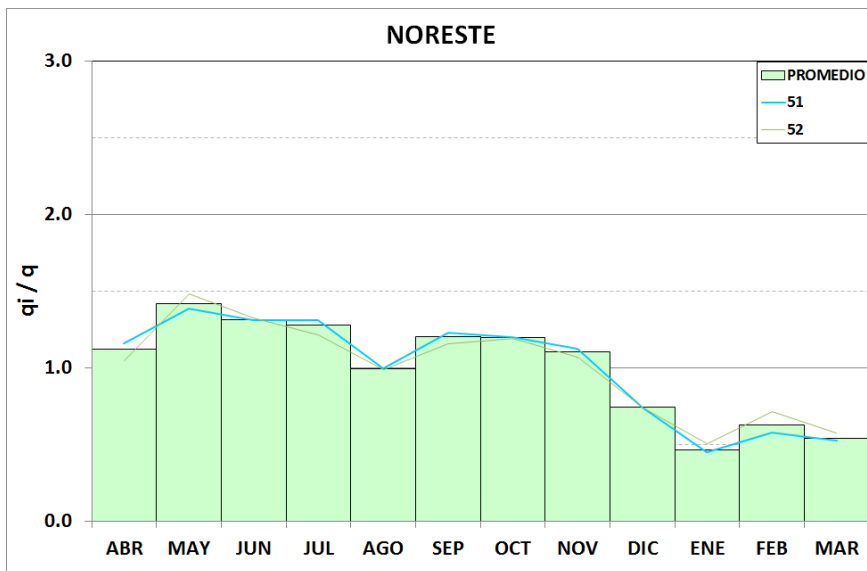
$$\text{caudal medio mensual } q_i / \text{caudal medio anual } q$$

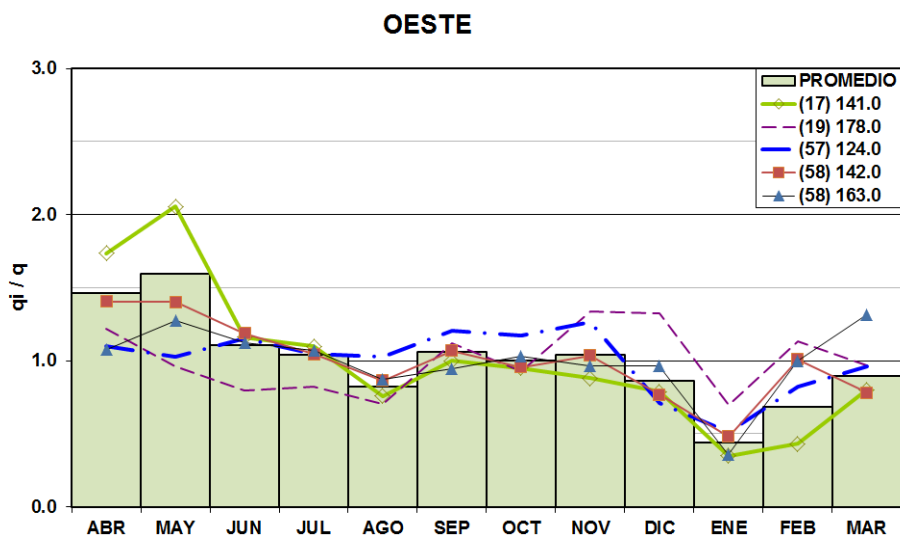
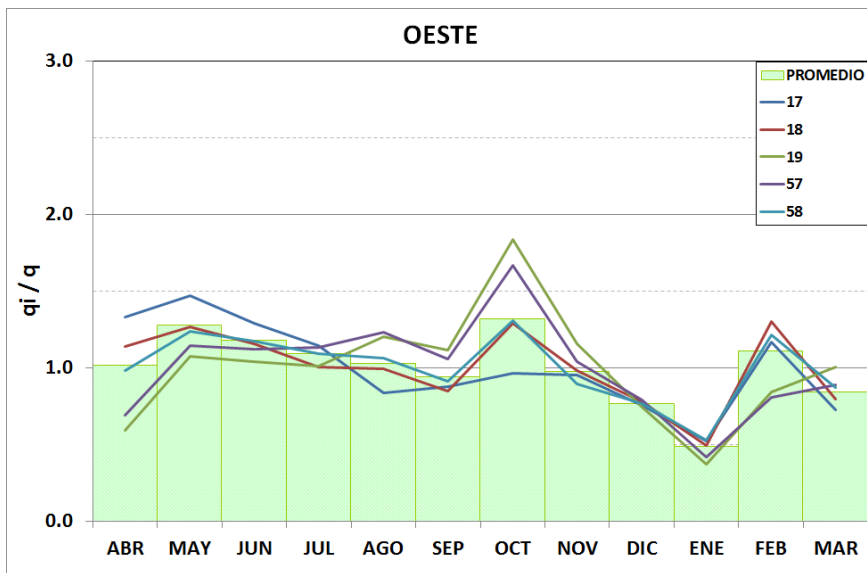
Los resultados individuales fueron agrupados en base a la proximidad geográfica y a las similitudes en la forma y los valores de los ciclos anuales. Los gráficos de las páginas siguientes muestran la agrupación por regiones tanto de los datos de la modelación mensual de balance hidrológico como de las series hidrométricas.

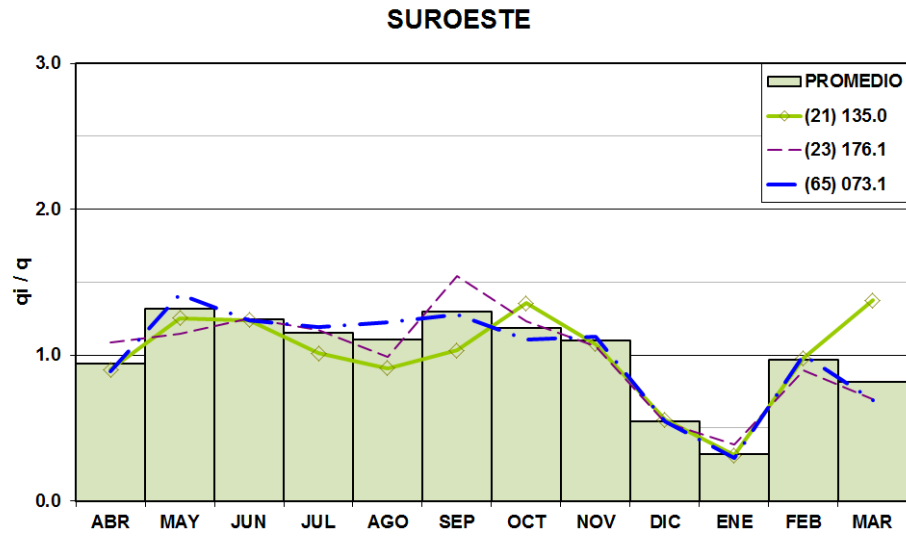
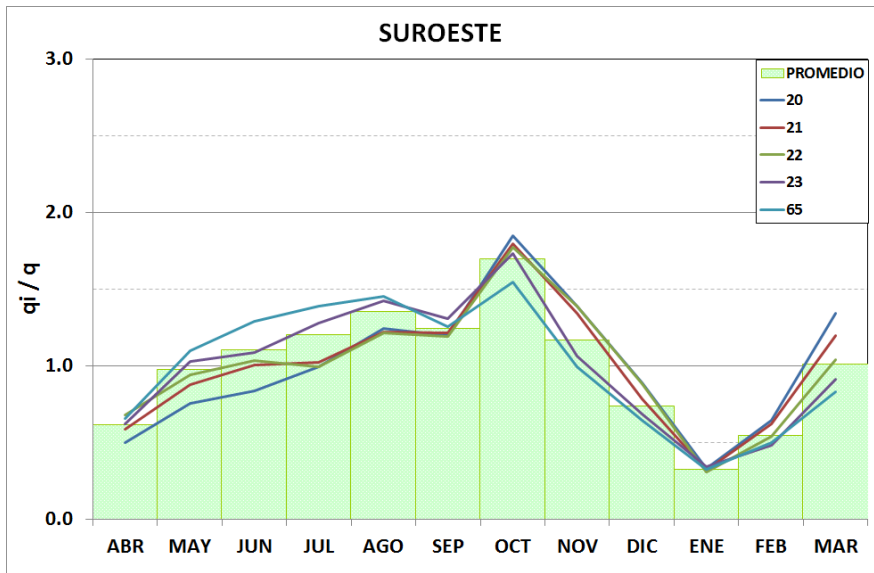
Las barras verticales representan los promedios mensuales de cada grupo ponderados por área de cuenca, mientras que los diferentes trazos representan los ciclos medios individuales: en los gráficos de la derecha se presentan los ciclos hallados a partir de las estadísticas de las estaciones hidrométricas (identificadas por el código de subcuenca Nivel 2 más el número de estación) y en los de la izquierda los obtenidos a partir de los resultados del balance hídrico (identificados por código de subcuenca).

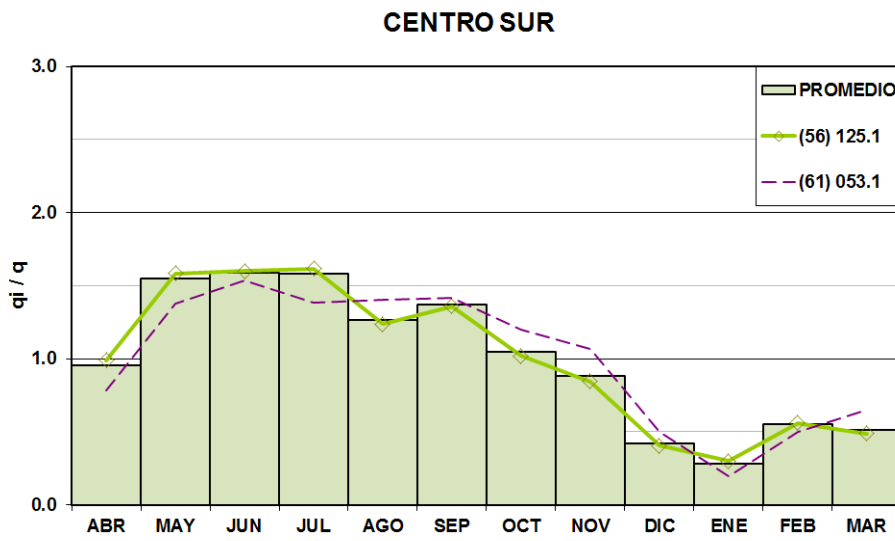
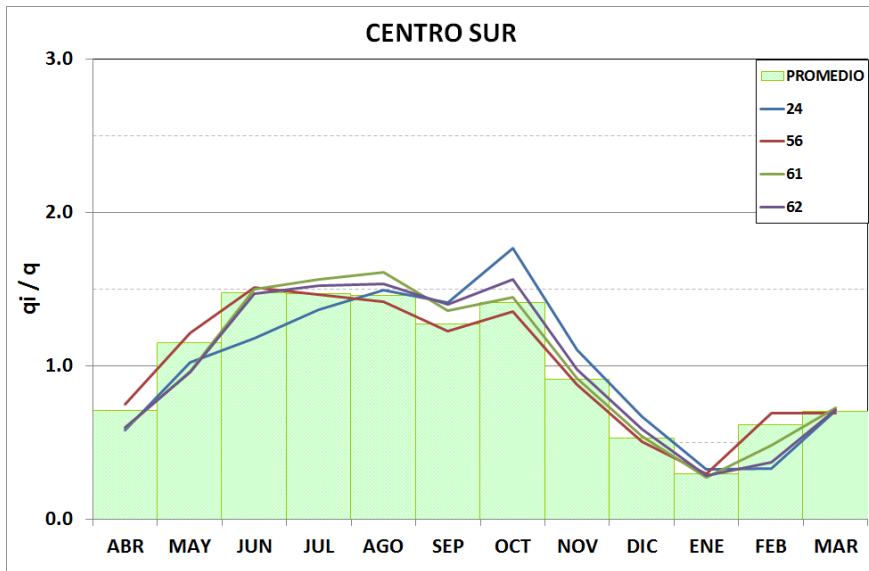
La asignación de subcuencas a las regiones propuestas, junto con la delimitación de las cuencas de las estaciones seleccionadas, se describe en la **Figura 20** del documento principal.

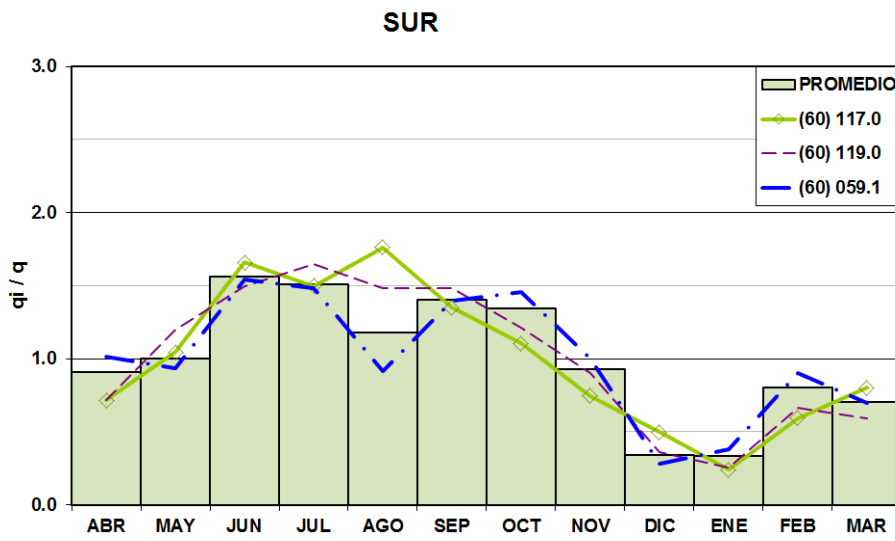
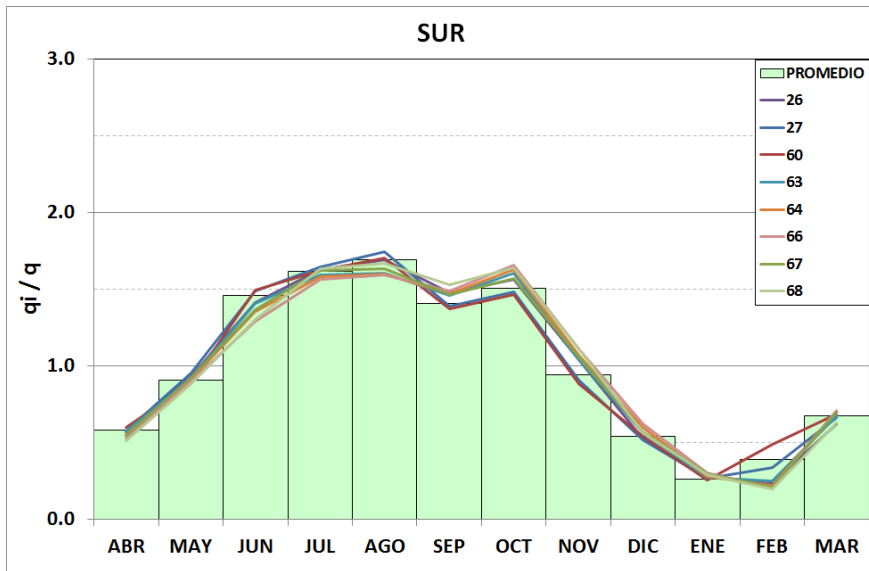


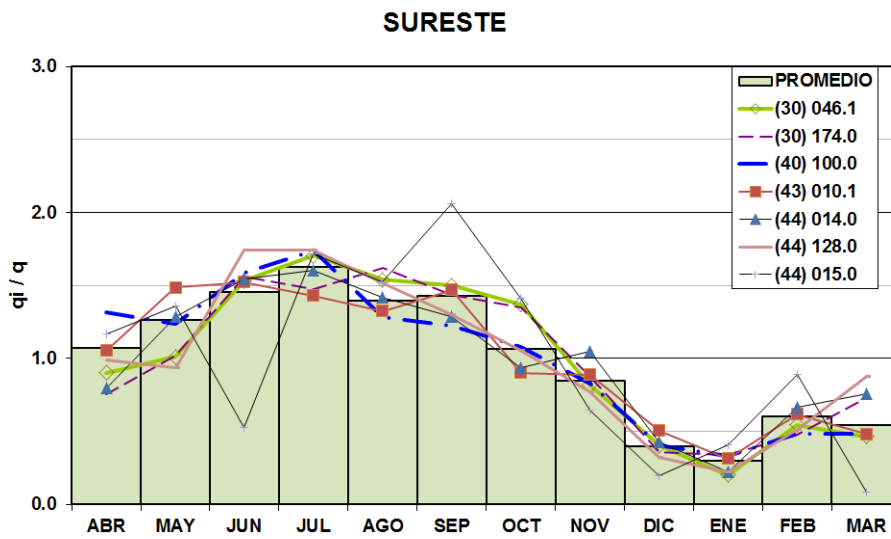
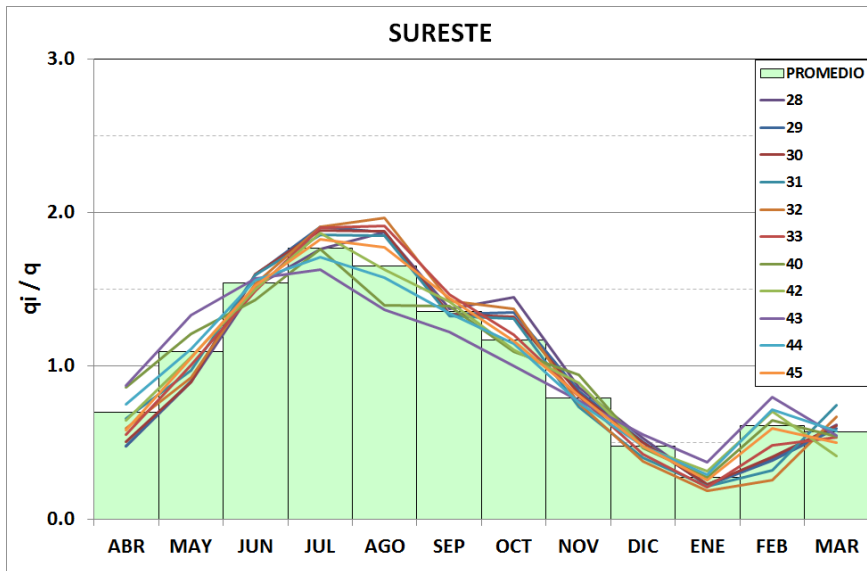


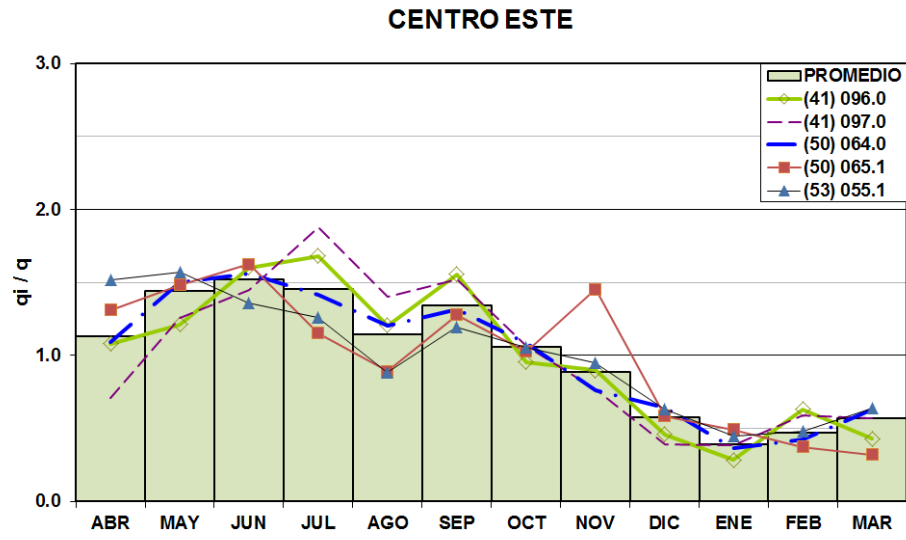
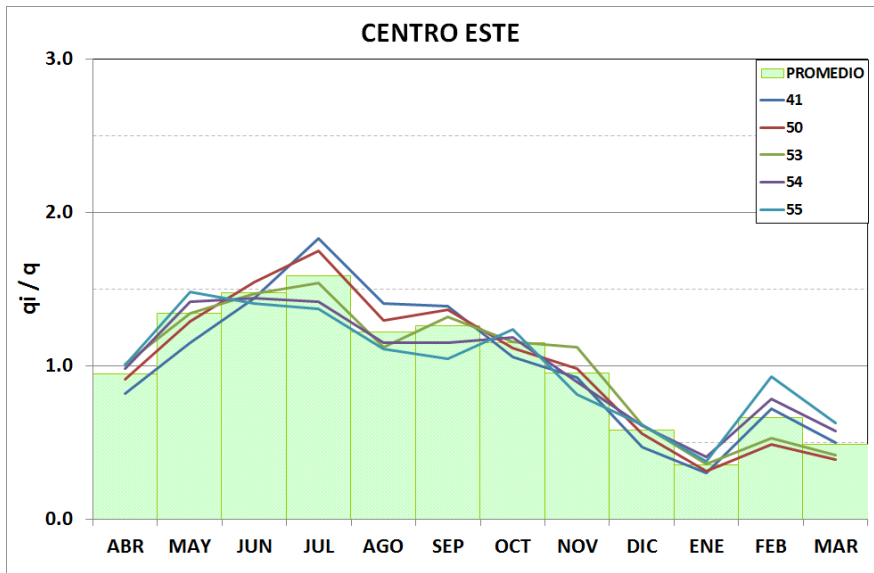












ANEXO III

REGIONALIZACIÓN DE FRECUENCIAS DE CAUDALES DIARIOS ESTACIONALES

En estadística se define como “histograma” a una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde cada barra representa a una sub-categoría o rango de valores observados de la variable y su área es proporcional a la cantidad de casos (“frecuencia”) en que se presentan los valores dentro de cada rango. Si los rangos se ordenan de forma descendente y se van acumulando las frecuencias parciales de cada uno de ellos como porcentajes del total de casos en la muestra, queda definida una “curva de frecuencias acumuladas” en la que para cada valor de la variable se da el porcentaje de casos observados que exceden dicho valor.

En referencia a series de datos temporales, cuando los datos de la muestra están uniformemente distribuidos en el período de estudio (años completos o períodos parciales) y la serie es suficientemente extensa, la curva de frecuencias acumuladas puede emplearse como una estimación de la probabilidad de ocurrencia del evento representado en el intervalo de tiempo correspondiente.

Si se trata de datos diarios, mensuales o anuales de series completas, se estará estimando la probabilidad de que en un día, mes o año cualquiera se registre un caso con valor de la variable igual o superior al valor indicado. Si los datos utilizados corresponden a un período parcial (un mes o estación del año), las conclusiones podrán ser aplicadas en concreto solo a ese período en particular. En este último caso se estará disminuyendo drásticamente la cantidad de datos totales disponibles para el análisis estadístico, con riesgo de tener sesgos en la muestra, más aun considerando que los eventos reales pueden presentarse con una duración que no necesariamente estará confinada dentro del período parcial definido.

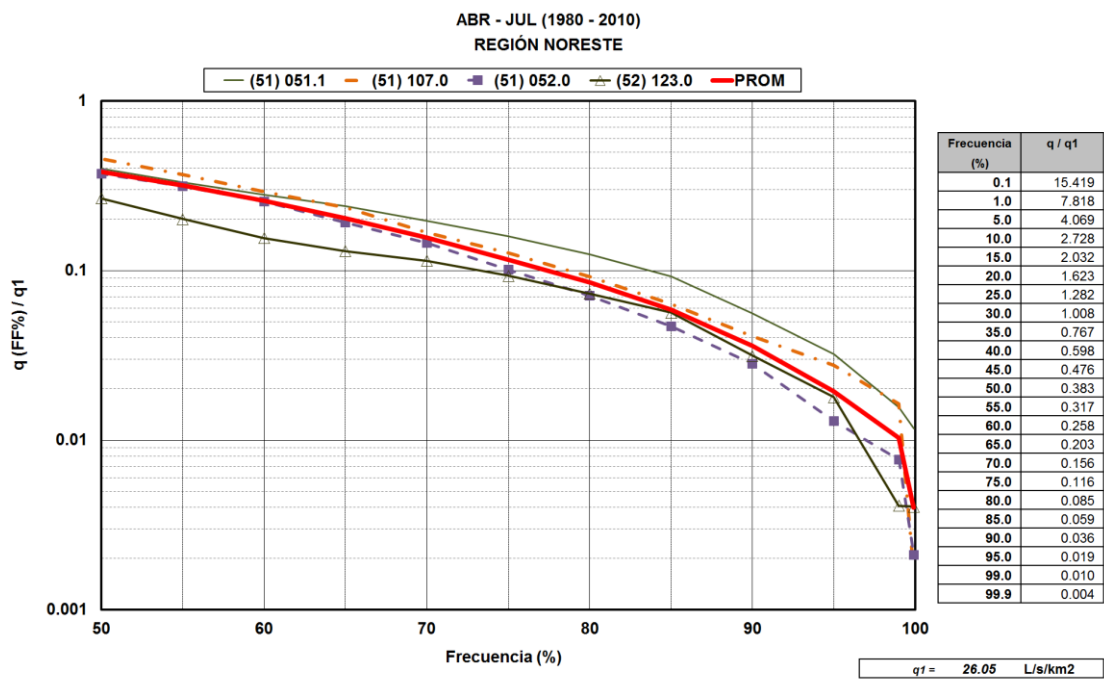
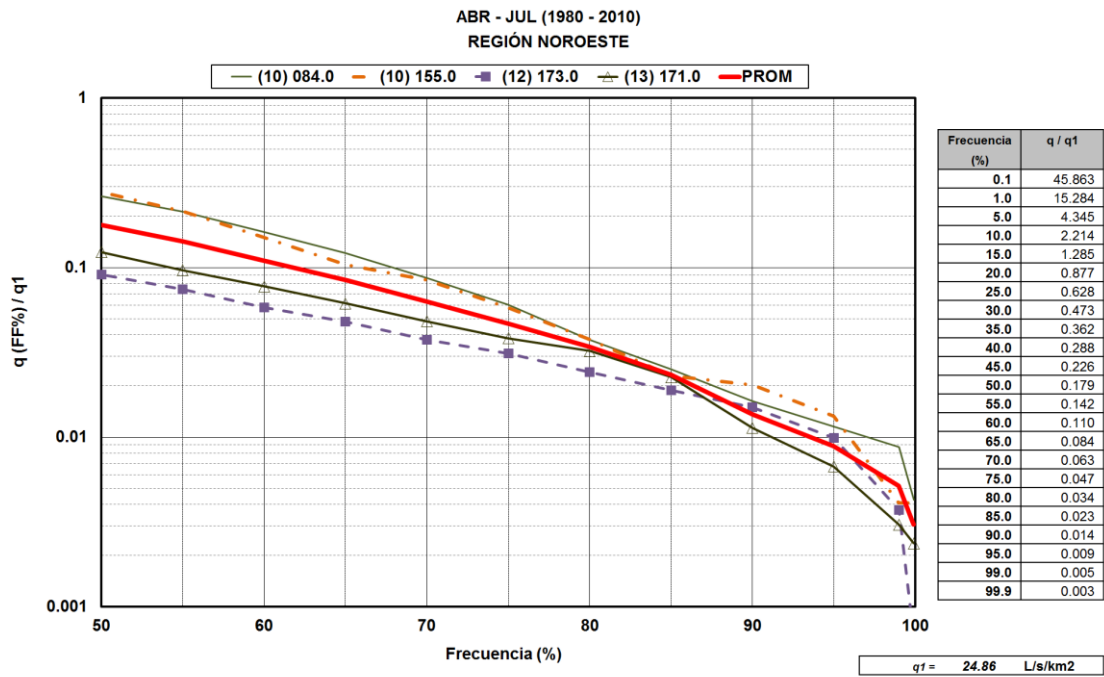
En los gráficos siguientes se presentan agrupados por región los detalles de las curvas de frecuencia de caudales diarios estacionales (cuatrimestres) por encima de la frecuencia 50%, calculados para cada una de las estaciones hidrométricas seleccionadas y normalizados por los respectivos caudales medios cuatrimestrales. Se incluye además en cada gráfico una curva media y tabla de frecuencias para los promedios ponderados por las áreas de las estaciones seleccionadas de cada región.

La definición de los cuatrimestres se corresponde con los resultados de publicaciones anteriores, donde se proponen los períodos estacionales de abril a julio, de agosto a noviembre y de diciembre a marzo.

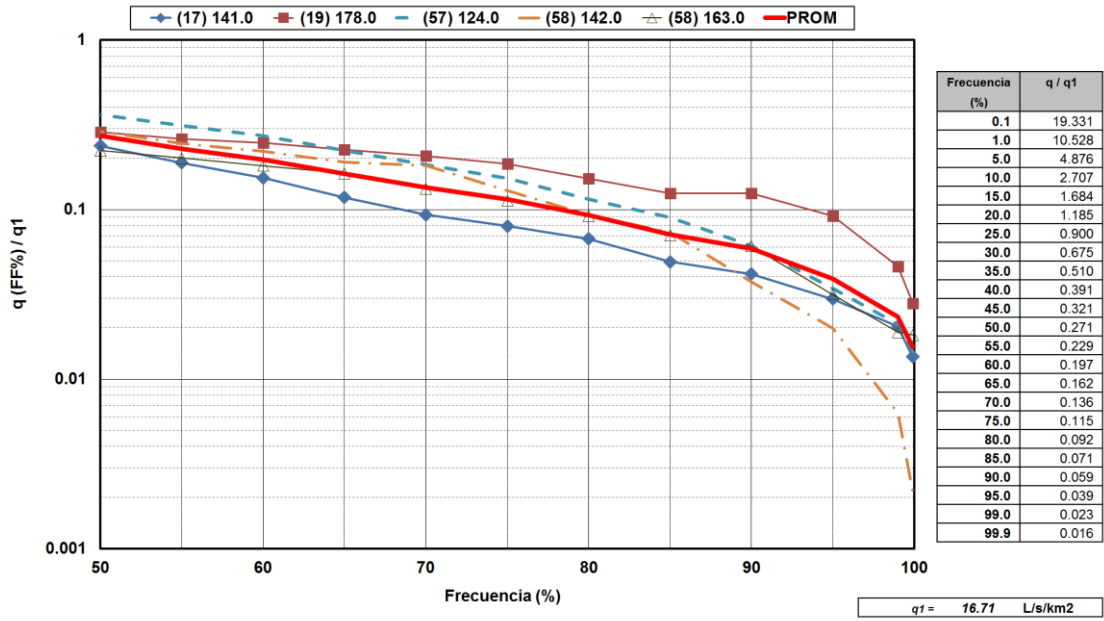
El agrupamiento de las estaciones por regiones ha tenido en cuenta a la vez la regionalización de los ciclos medios anuales de caudales (**Anexo II**) y las semejanzas en la forma y valores de las curvas de frecuencia normalizadas. El eje de ordenadas se presenta en escala logarítmica para apreciar mejor las diferentes curvas.

Las referencias para cada trazo en la gráfica identifican el código de la estación precedido entre paréntesis del código de subcuenca de Nivel 2 a la que pertenece. (Ver la **Figura 2** del documento principal por la identificación de las estaciones y los cursos de agua observados.)

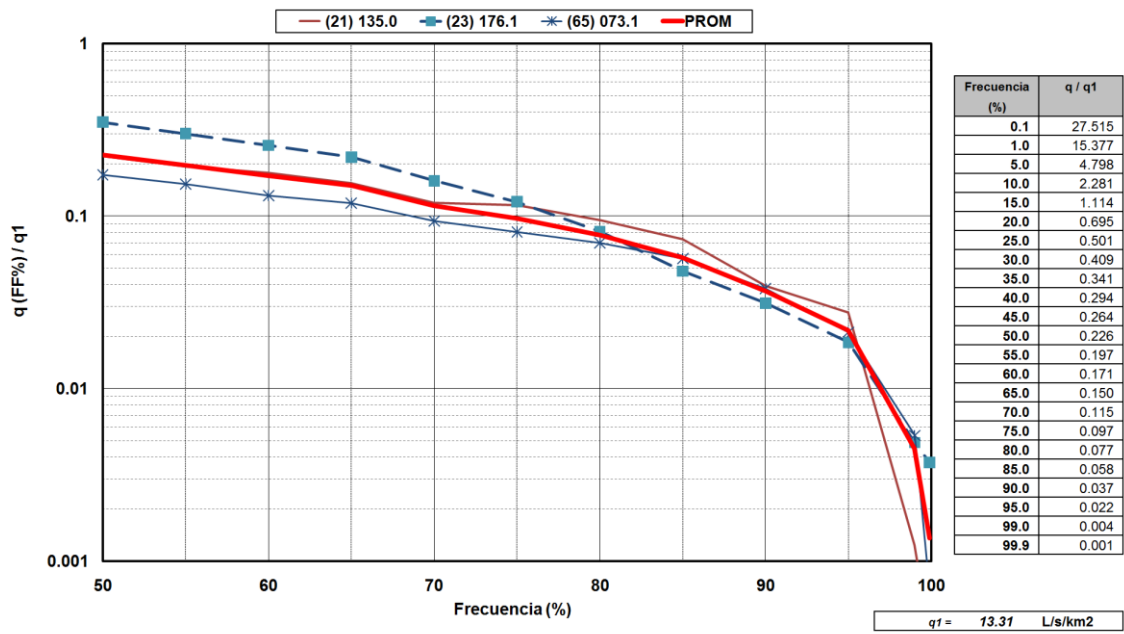
A III.1 – Frecuencias de caudales específicos diarios estacionales normalizados (ABR-JUL)



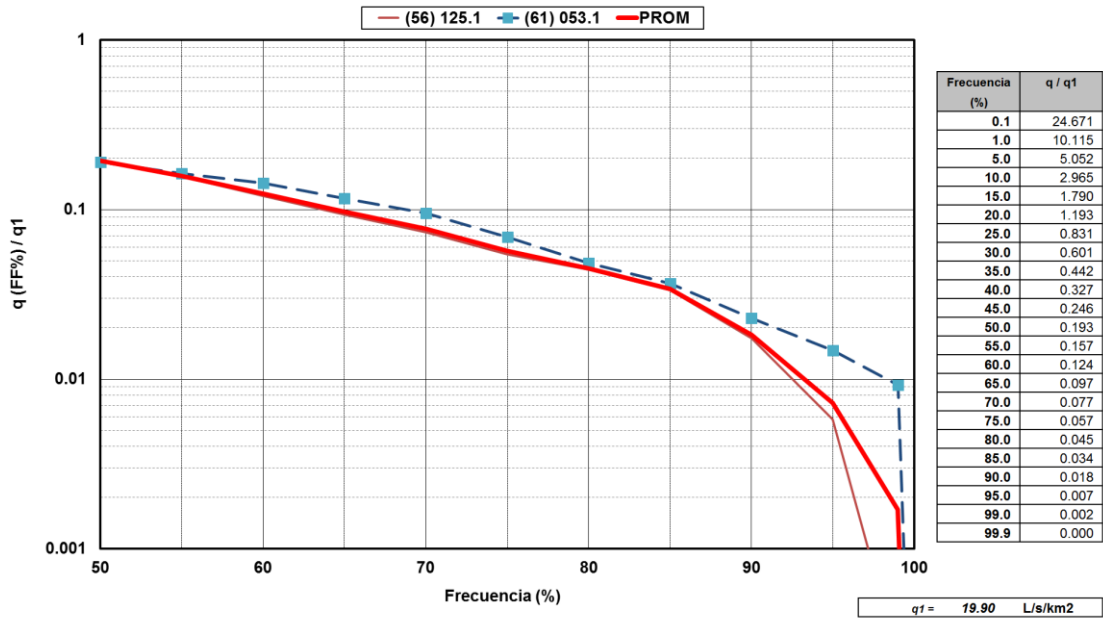
ABR - JUL (1980 - 2010)
REGIÓN OESTE



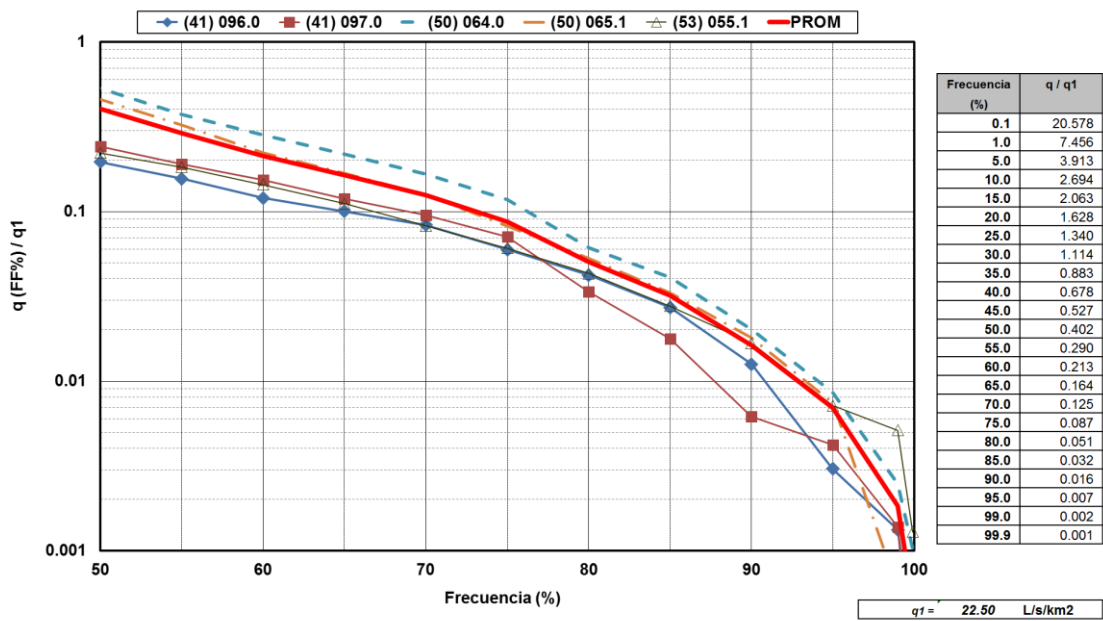
ABR - JUL (1980 - 2010)
REGIÓN SUROESTE

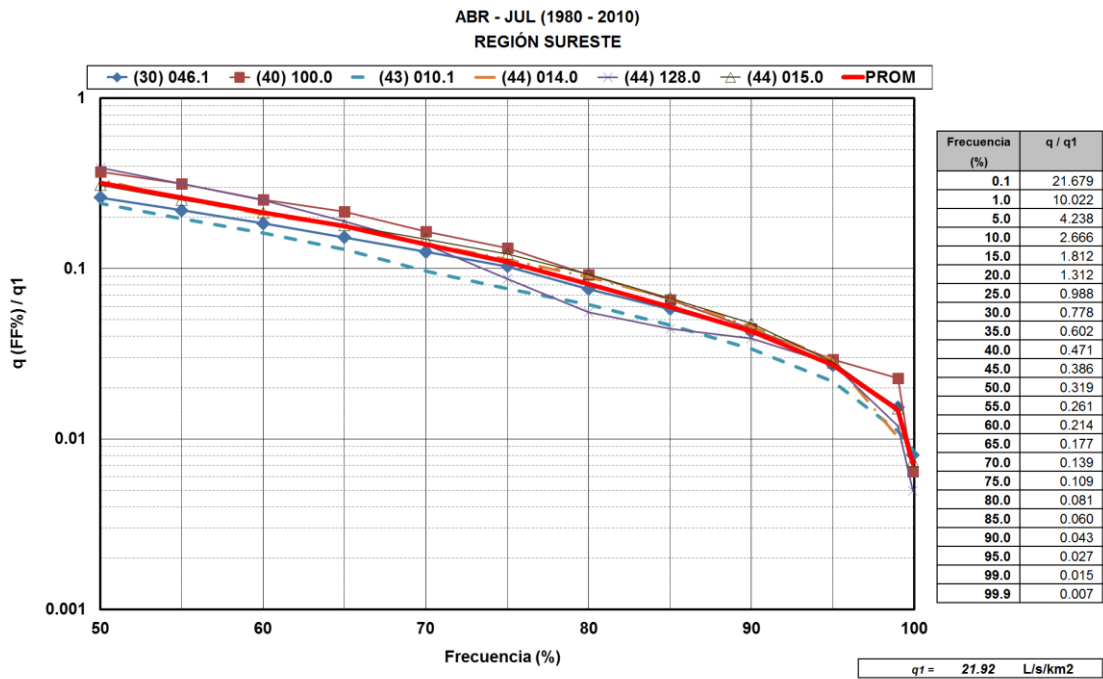
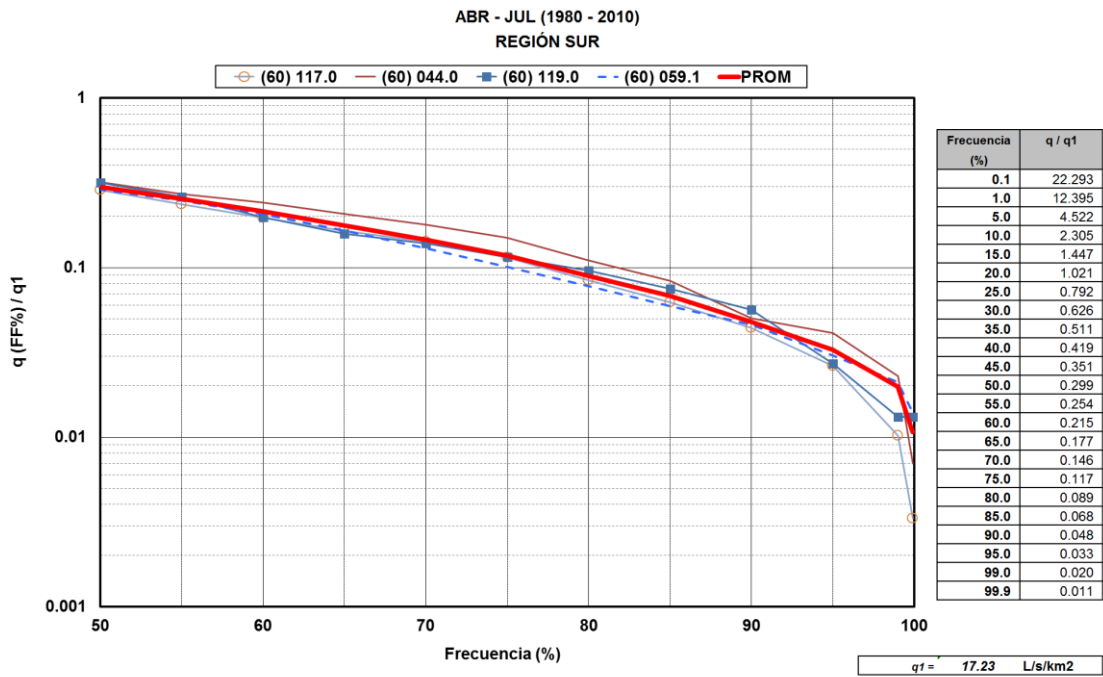


ABR - JUL (1980 - 2010)
REGIÓN CENTRO SUR

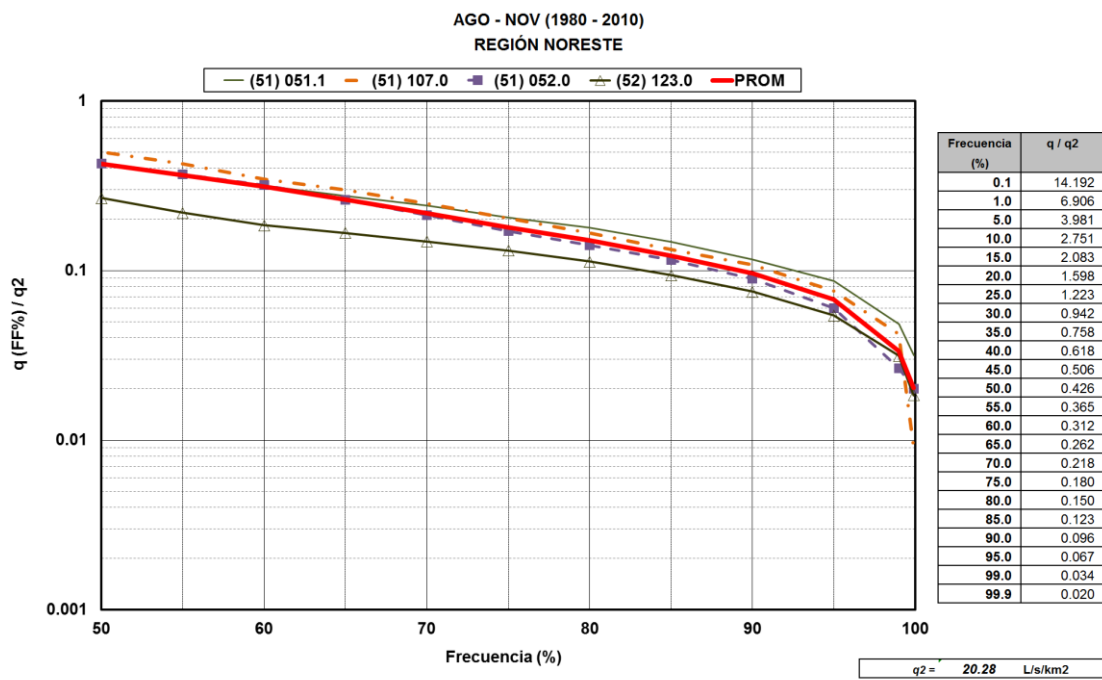
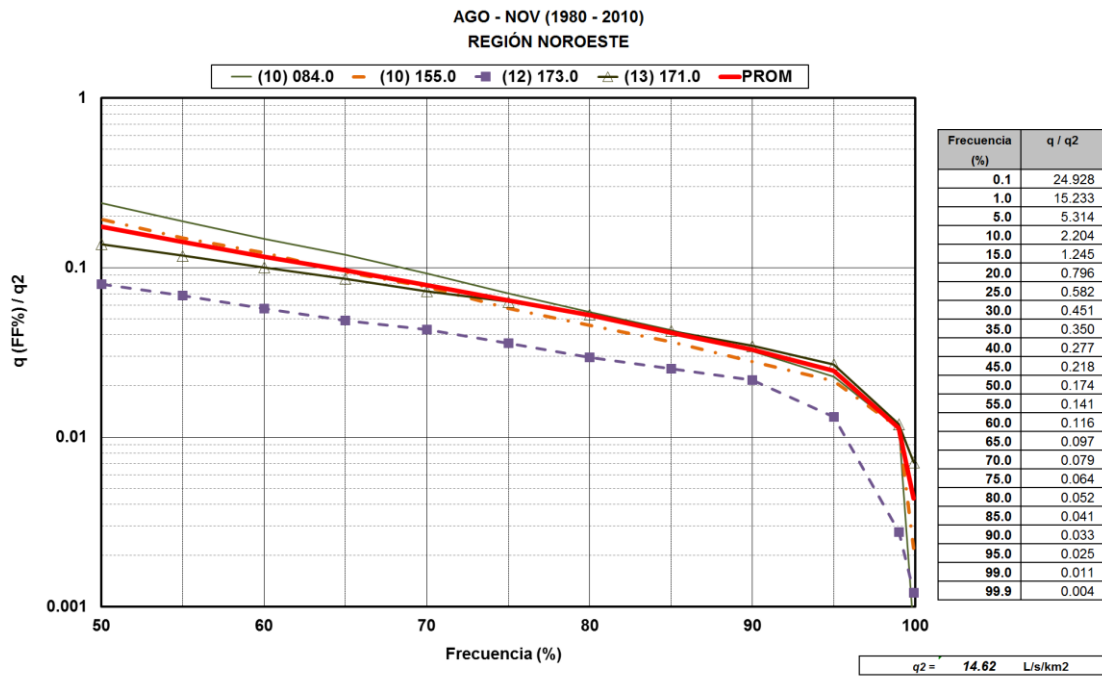


ABR - JUL (1980 - 2010)
REGIÓN CENTRO ESTE

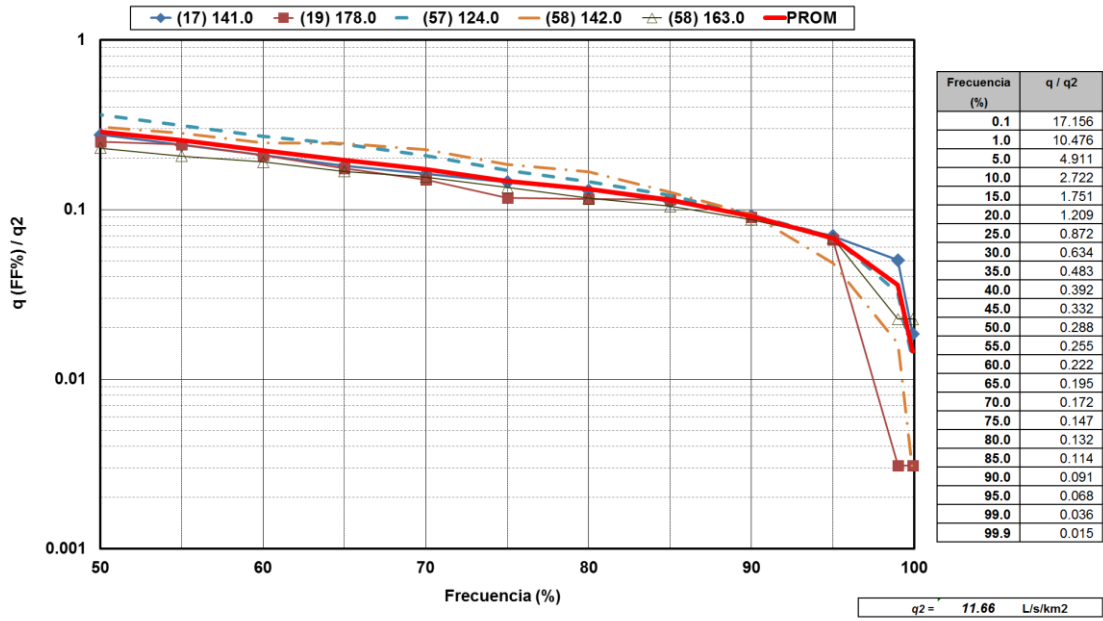




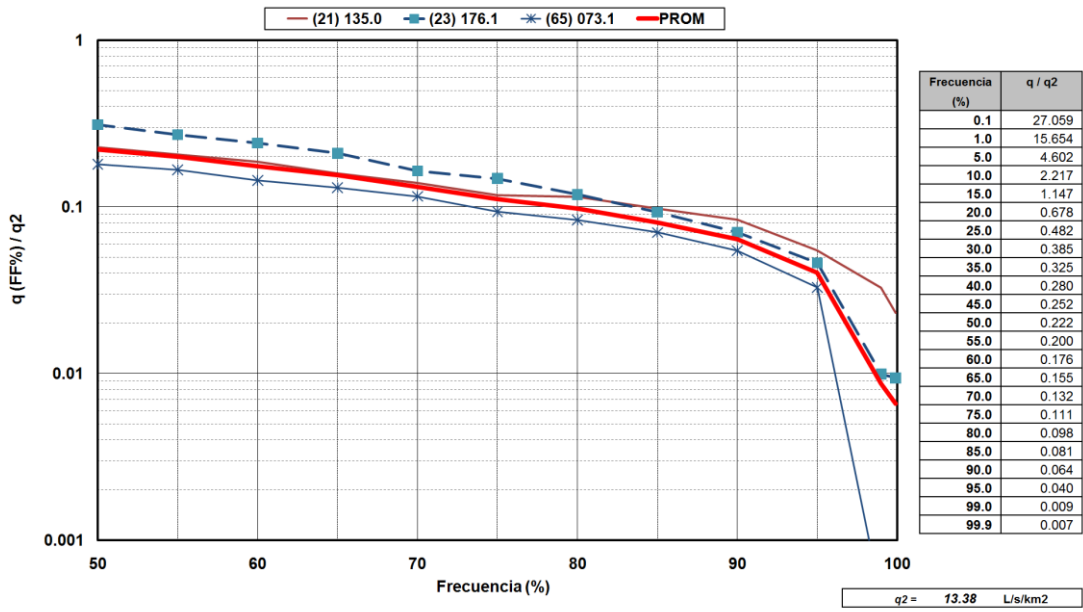
A III.2 – Frecuencias de caudales específicos diarios estacionales normalizados (AGO-NOV)



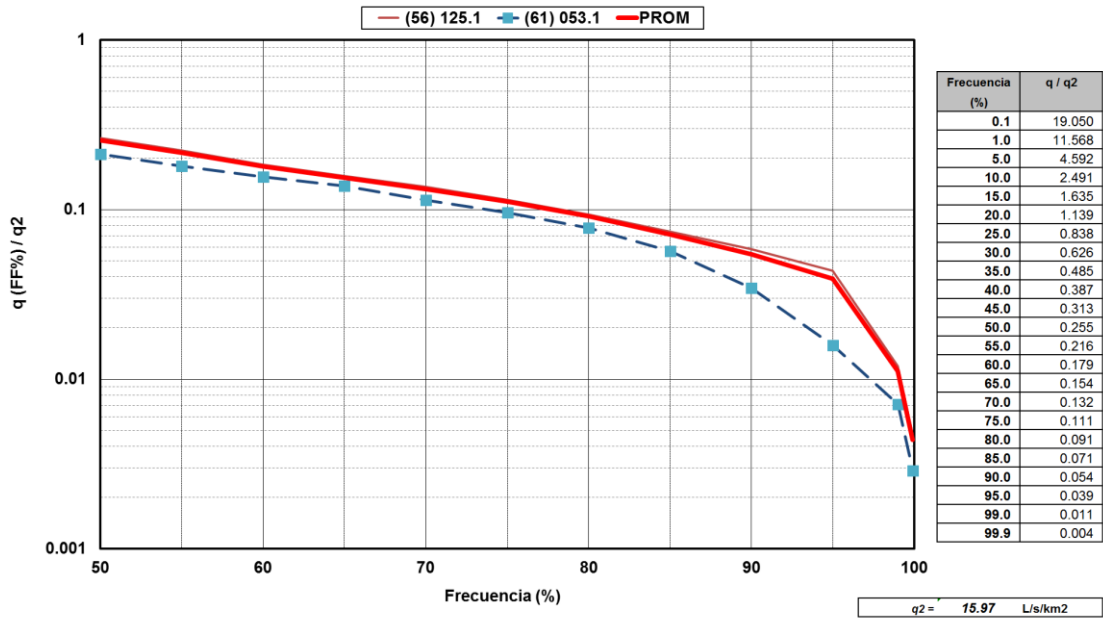
AGO - NOV (1980 - 2010)
REGIÓN OESTE



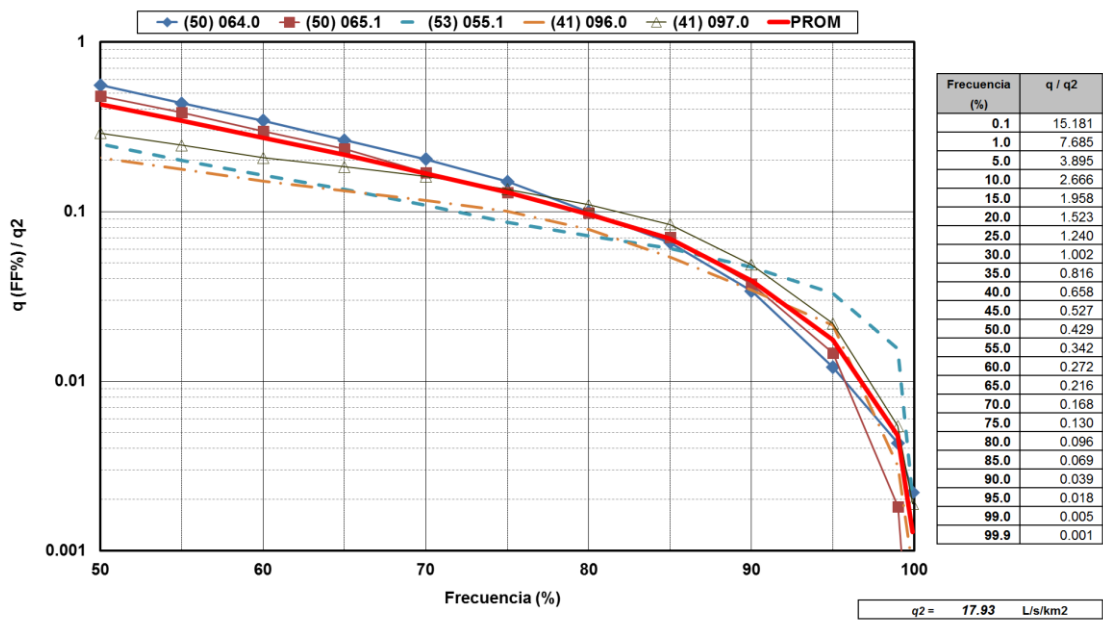
AGO - NOV (1980 - 2010)
REGIÓN SUROESTE

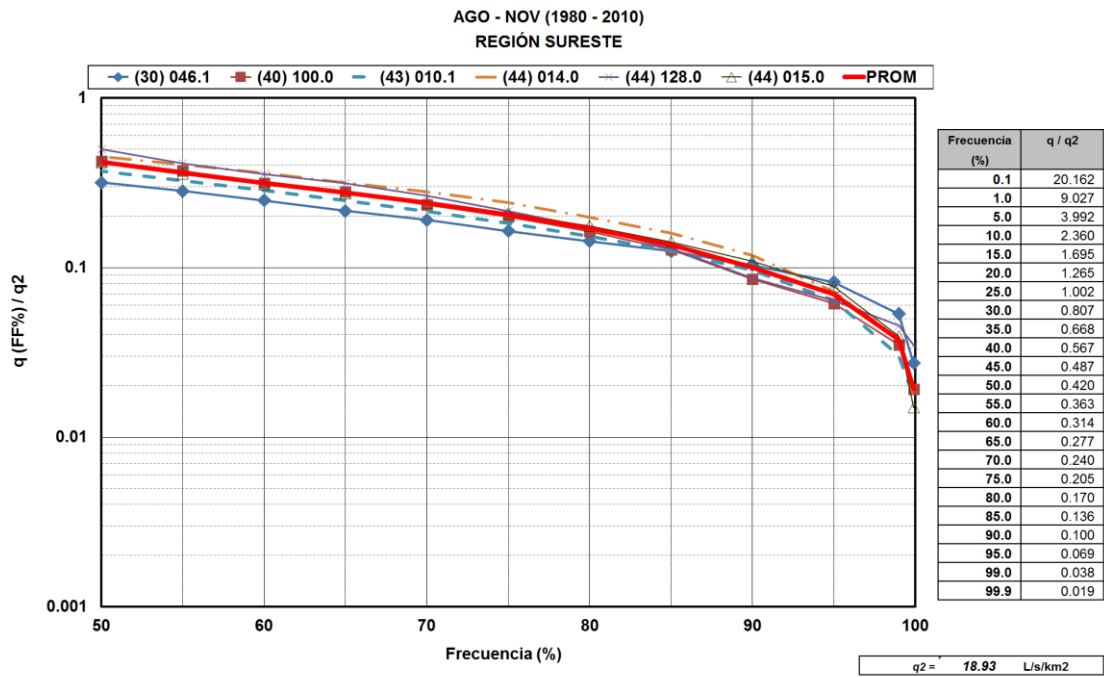
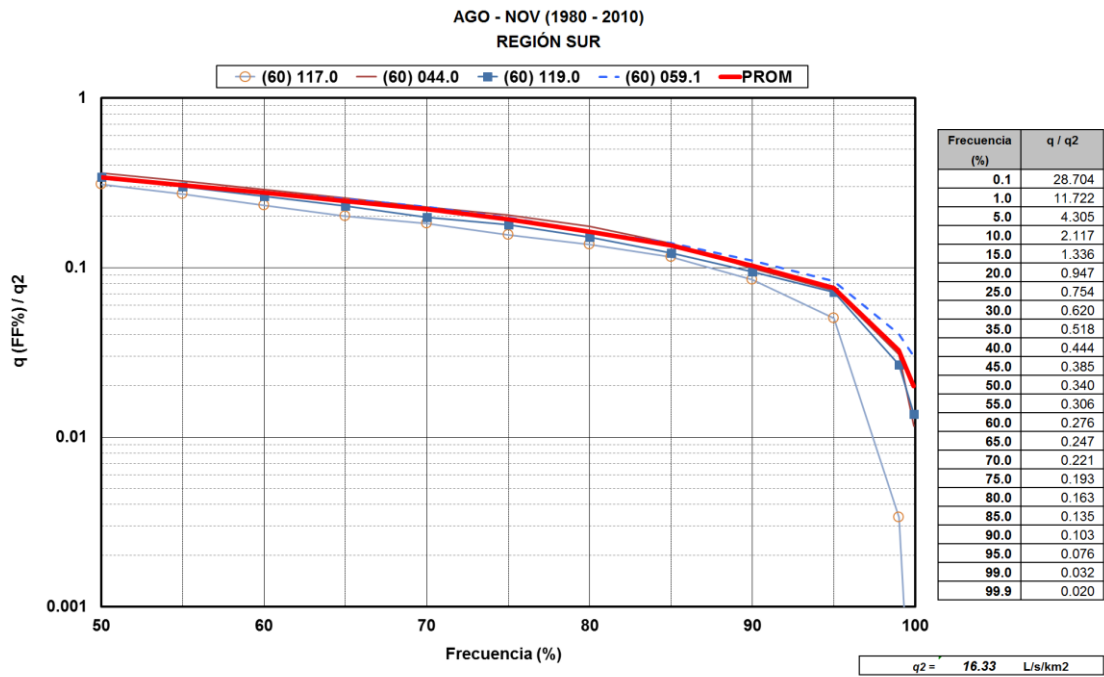


AGO - NOV (1980 - 2010)
REGIÓN CENTRO SUR

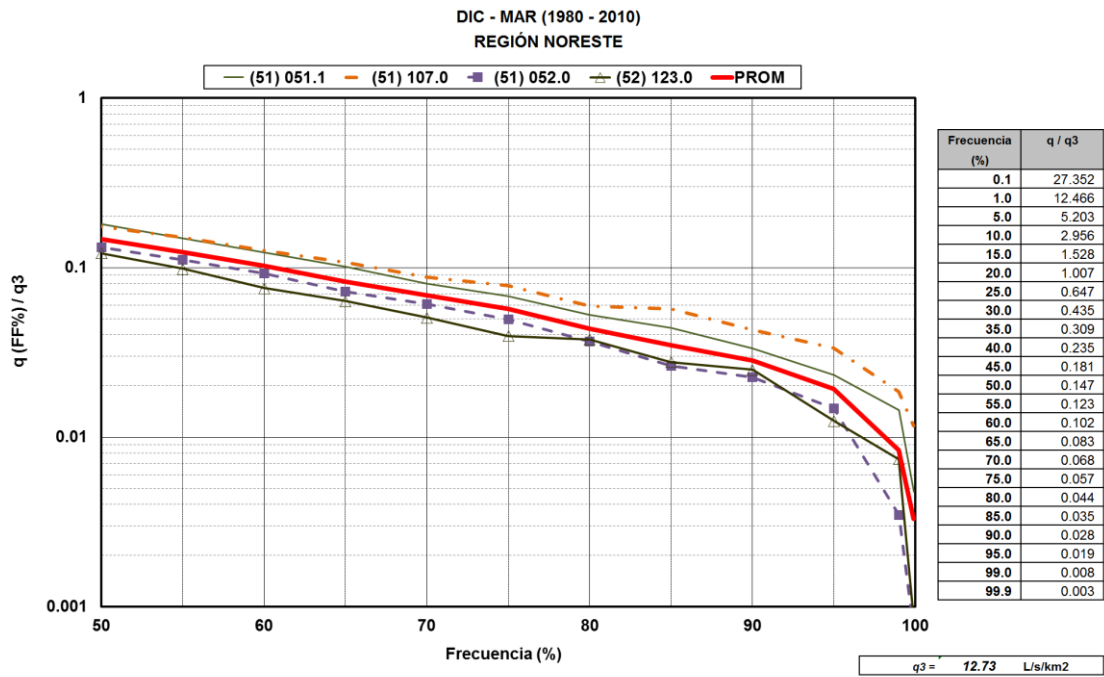
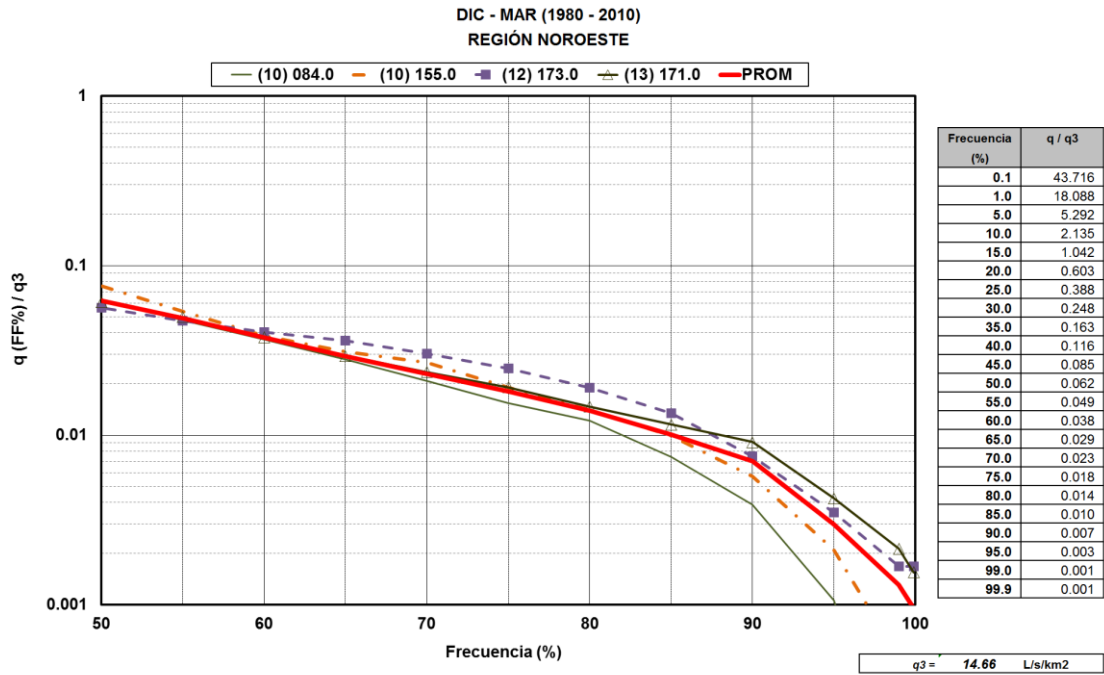


AGO - NOV (1980 - 2010)
REGIÓN CENTRO ESTE

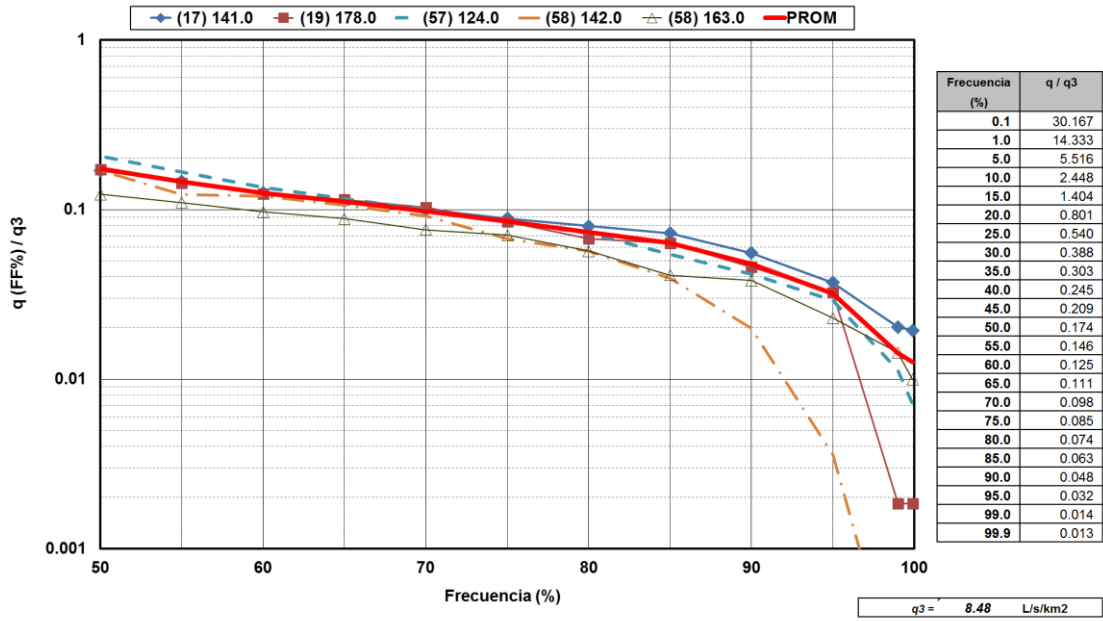




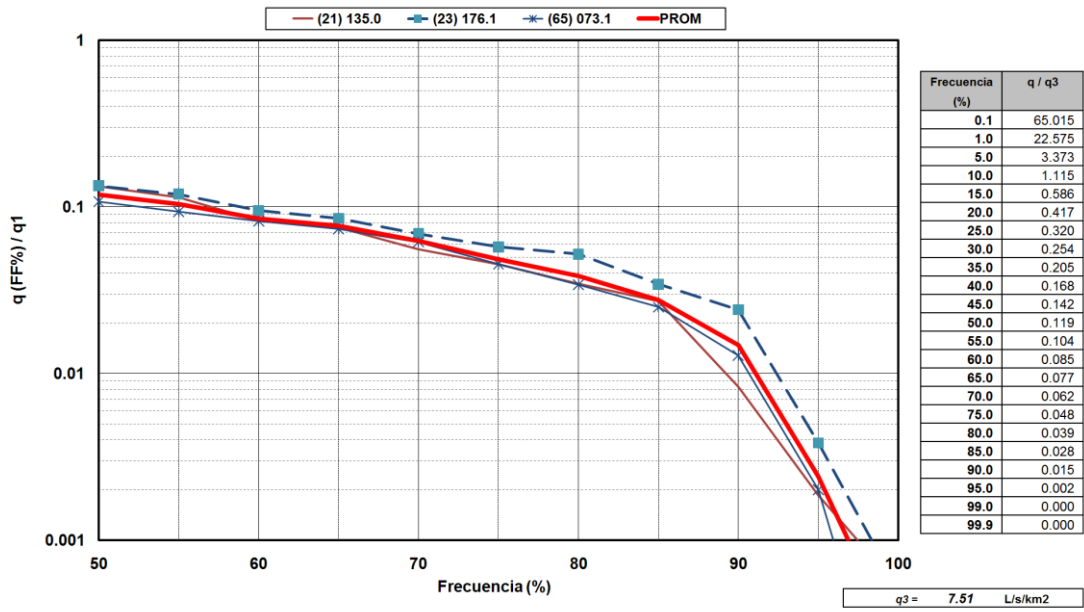
A III.3 – Frecuencias de caudales específicos diarios estacionales normalizados (DIC-MAR)



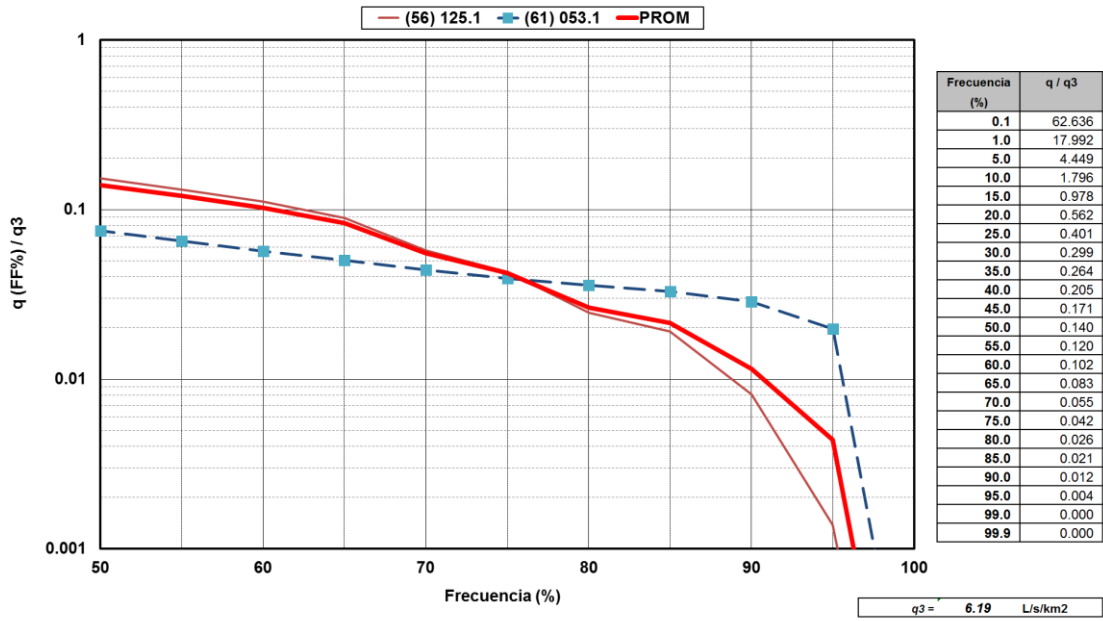
DIC - MAR (1980 - 2010)
REGIÓN OESTE



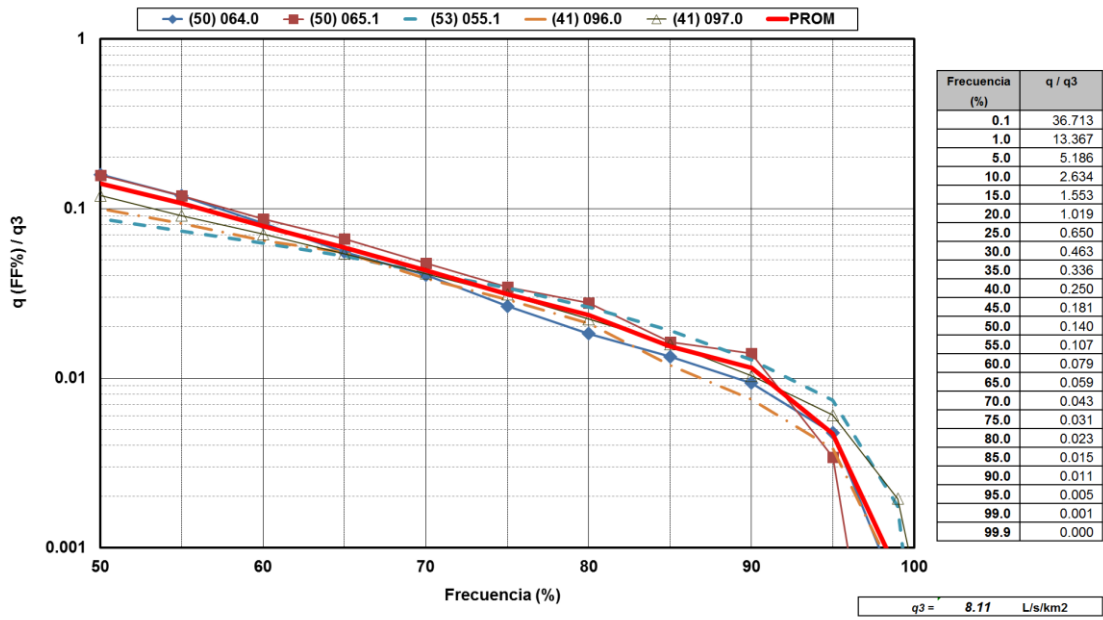
DIC - MAR (1980 - 2010)
REGIÓN SUROESTE

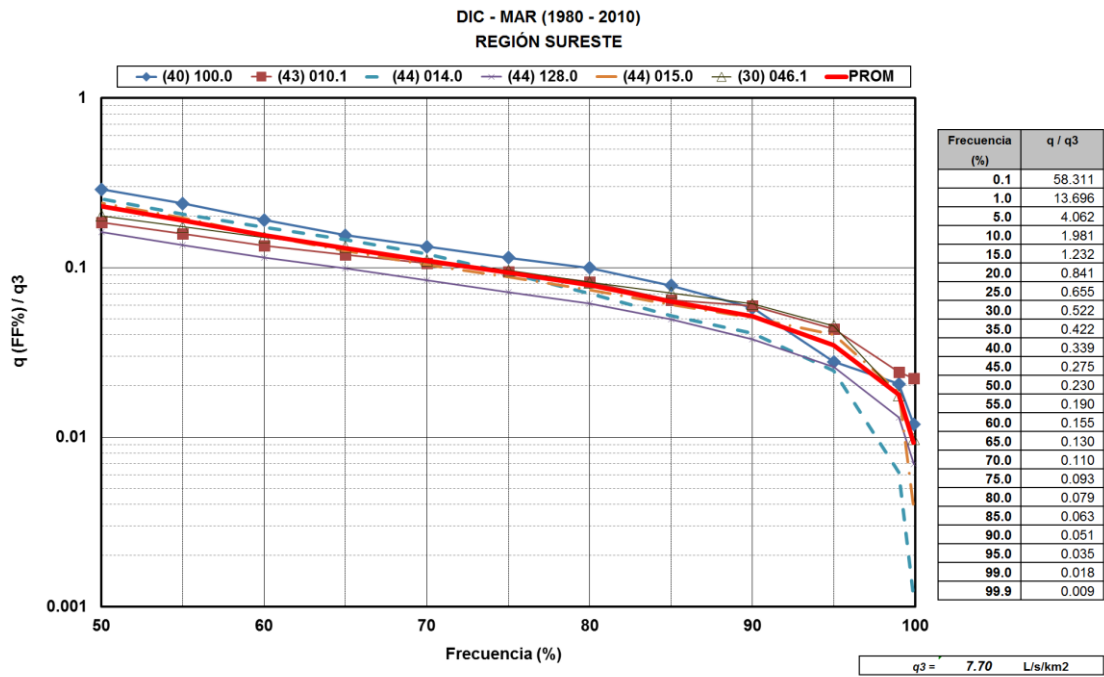
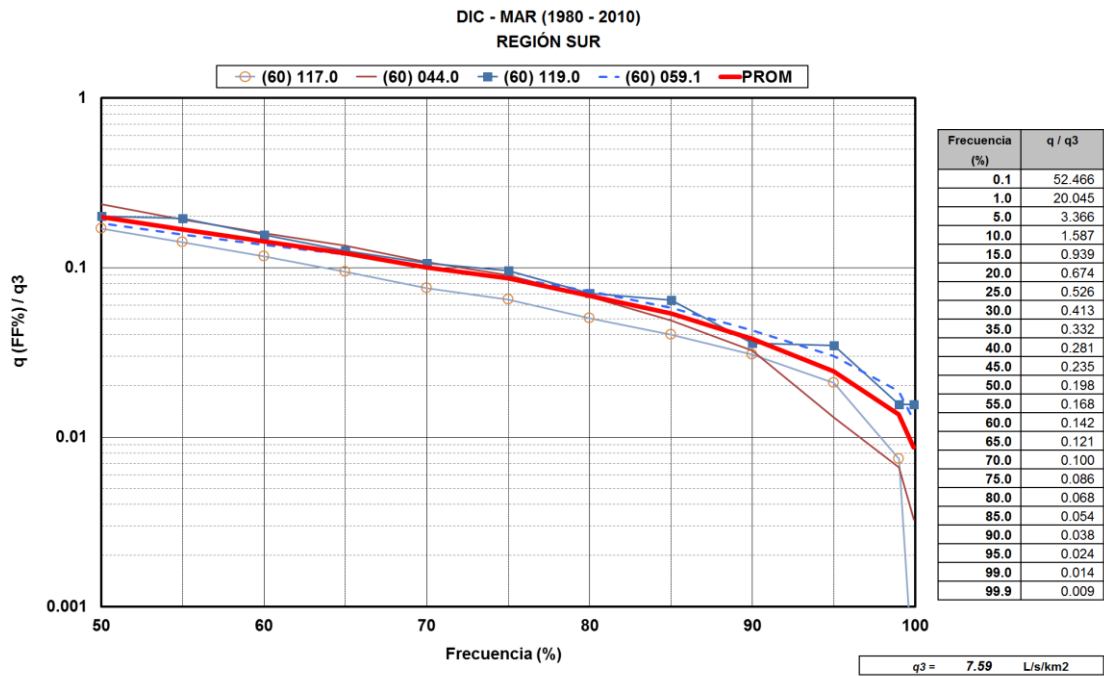


DIC - MAR (1980 - 2010)
REGIÓN CENTRO SUR



CAUDAL ESPECÍFICO NORMALIZADO POR EL CAUDAL MEDIO CUATRIMESTRAL
DIC - MAR (1980 - 2010)
REGIÓN CENTRO ESTE





ANEXO IV

PROMEDIOS MÓVILES DE CAUDALES DIARIOS EN ESTIAJES

Para cada tipo de proyecto que depende de la variabilidad de los niveles o caudales observados en una sección de curso de agua en particular puede definirse un umbral de “tolerancia” a la falta o al exceso de agua durante un período determinado de tiempo.

Algunos casos no admitirán ningún instante de exceso o de falta y entonces la variable a analizar para el diseño de la solución técnica óptima deberá ser necesariamente la de extremos instantáneos observados: la cota del piso de un espacio que no puede inundarse bajo ningún concepto, el zampeado de un emisario que no debe quedar nunca en seco, etc.

Otro tipo de proyectos tendrá cierta flexibilidad en la duración del “fallo”, sea porque el tiempo máximo de duración del evento de falta o exceso no resulta crítico o porque se cuenta con cierta capacidad de reserva alternativa para cubrir o amortiguar la diferencia. Un cultivo que depende exclusivamente de una fuente de agua superficial mediante una toma directa en un arroyo tendrá más vulnerabilidad al fallo que otro cultivo idéntico que cuente además con una reserva con un volumen equivalente a, por ejemplo, 15 días de riego. En el primer caso el evento crítico en la fuente comenzará a manifestarse desde el primer día en que se tengan caudales por debajo de lo necesario y su duración total no deberá ser superior al límite de tolerancia para que el cultivo no pierda productividad o calidad. En el segundo caso, el evento crítico en la fuente comenzará a producirse recién pasados como mínimo 15 días sucesivos con caudales por debajo de lo demandado, puesto que en ese tiempo el faltante se cubre con las reservas.

Los fenómenos hidrometeorológicos, y en particular su manifestación en forma de escurrimiento superficial por los cauces naturales, presentan cierta inercia derivada de que las variables físicas que los describen nunca varían en intervalos discretos absolutamente aleatorios sino por gradientes más o menos pronunciados.

Las curvas de frecuencias diarias o mensuales no permiten anticipar conclusiones sobre la ocurrencia y magnitud de esas rachas. Por ejemplo, si se analizan datos diarios de caudales en verano en una serie de 20 años, en el mejor de los casos sin datos faltantes se tendrá una muestra de unos 2400 datos en total. El 20% de los valores diarios más bajos de la muestra, es decir, inferiores a una frecuencia acumulada de excedencia de 80%, totaliza 480 días. Es perfectamente posible que la mayoría de esos días se hayan presentado concentrados en los cuatro o cinco peores veranos de los 20 años, mientras que en el resto de los veranos los caudales diarios se habrán mantenido mayoritariamente por encima.

La naturaleza y probabilidad de estos eventos “arrachados” se describe mejor analizando extremos anuales de promedios móviles (días o meses consecutivos).

Para cada sección aforada se determinó el mínimo anual de promedios móviles para distintas duraciones N (1, 7, 15, 30, 60 y 120 días) en los días del tercer cuatrimestre (diciembre a marzo) entre 1980 y 2010. Con las series anuales resultantes se realizaron ajustes de extremos y en particular se determinaron los caudales mínimos de N días consecutivos con períodos de retorno T de 2, 5 y 10 años ($q_3(N, T)$).

En los gráficos siguientes se muestran las correlaciones entre los distintos parámetros estadísticos determinados para cada estación hidrométrica. En todos los casos, cada punto en el gráfico corresponde a una misma estación hidrométrica y sus coordenadas son los valores calculados de los parámetros estadísticos comparados dos a dos. No se discrimina aquí por posición geográfica

ni por otras características locales diferenciales, sino que se consideran todas las estaciones del país en su conjunto.

A IV.1 – Correlaciones entre eventos de igual duración N o igual período de retorno T

Las Figuras IV-1 a IV-5 muestran las correlaciones por regresión lineal entre eventos de igual período de retorno T y distintas duraciones N tomadas de a pares: 1 vs. 7 días, 7 vs. 15 días, 15 vs. 30 días, 30 vs. 60 días y 60 vs. 120 días.

En cada caso se aprecia una notable alineación de las tres rectas de ajuste determinadas, sugiriendo que las relaciones son casi independientes del período de retorno. Los coeficientes de correlación R² son superiores a 0.80 salvo en el último par considerado (60 vs. 120 días).

Las Figuras IV-6 a IV-7 muestran las correlaciones entre eventos de igual duración N y distintos períodos de retorno T tomados de a pares: 2 vs. 5 años y 5 vs. 10 años. También en estas gráficas se aprecia una alineación bastante cercana entre las cinco rectas de ajuste. Los coeficientes de correlación son mucho mejores en la comparación 5 vs. 10 años de período de retorno, donde R² > 0.95 para N ≤ 60 días.

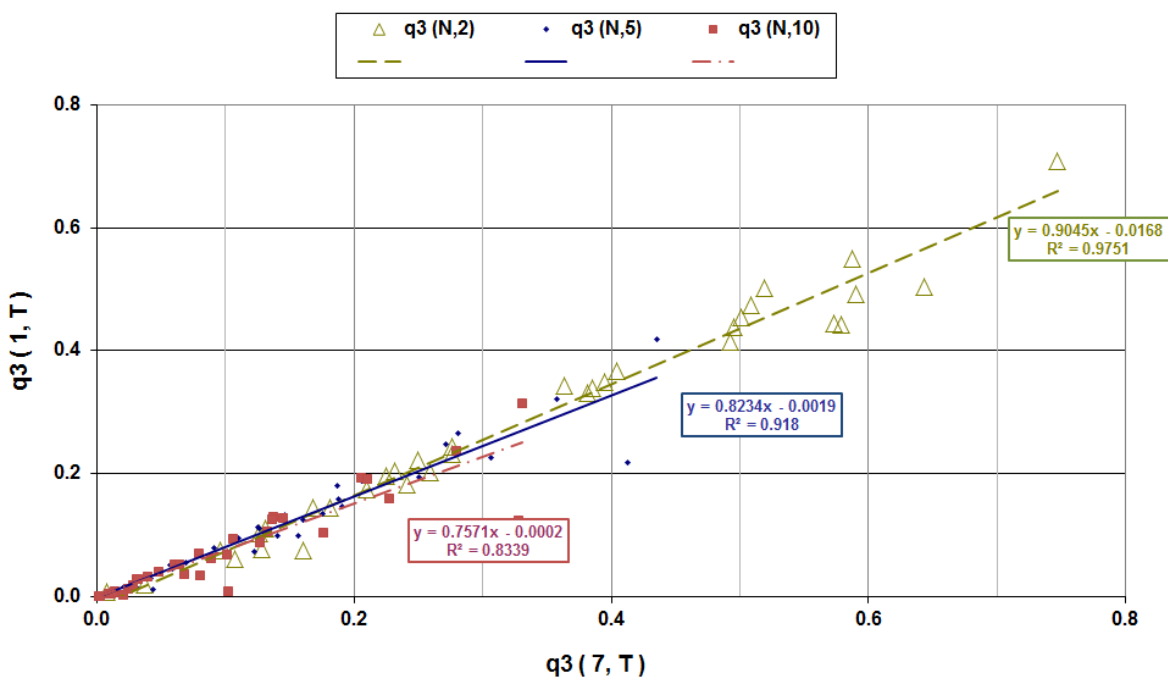


Figura IV-1.- Correlación entre $q_3(1, T)$ y $q_3(7, T)$ para distintos T (años)

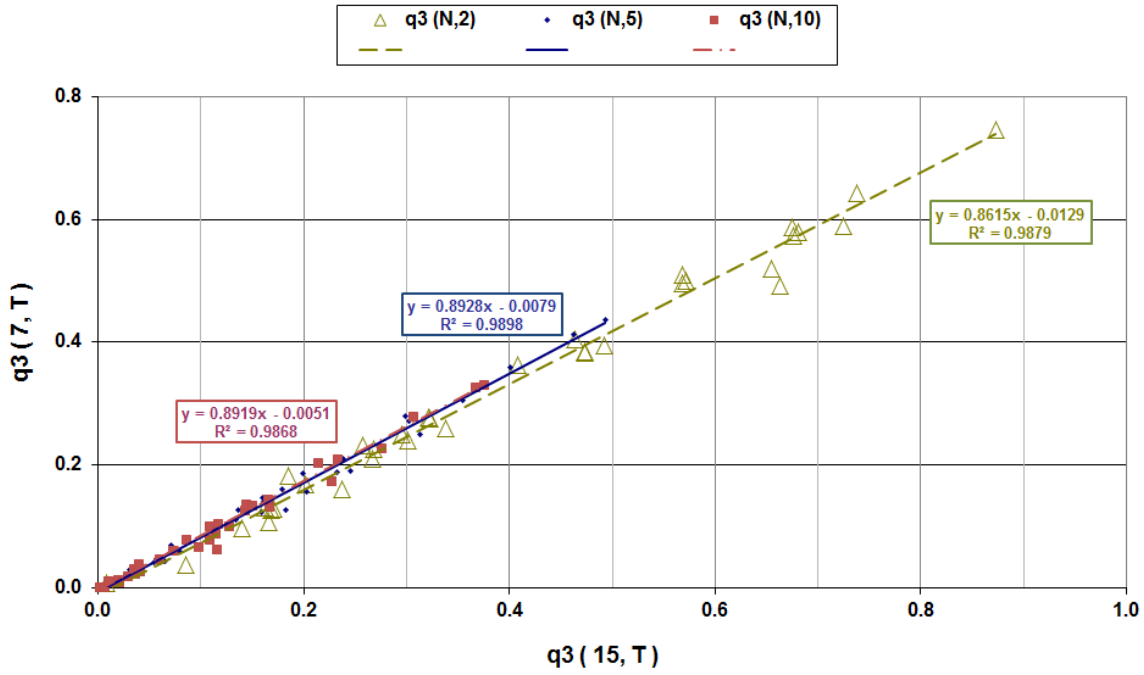


Figura IV-2.- Correlación entre $q_3(7, T)$ y $q_3(15, T)$ para distintos T (años)

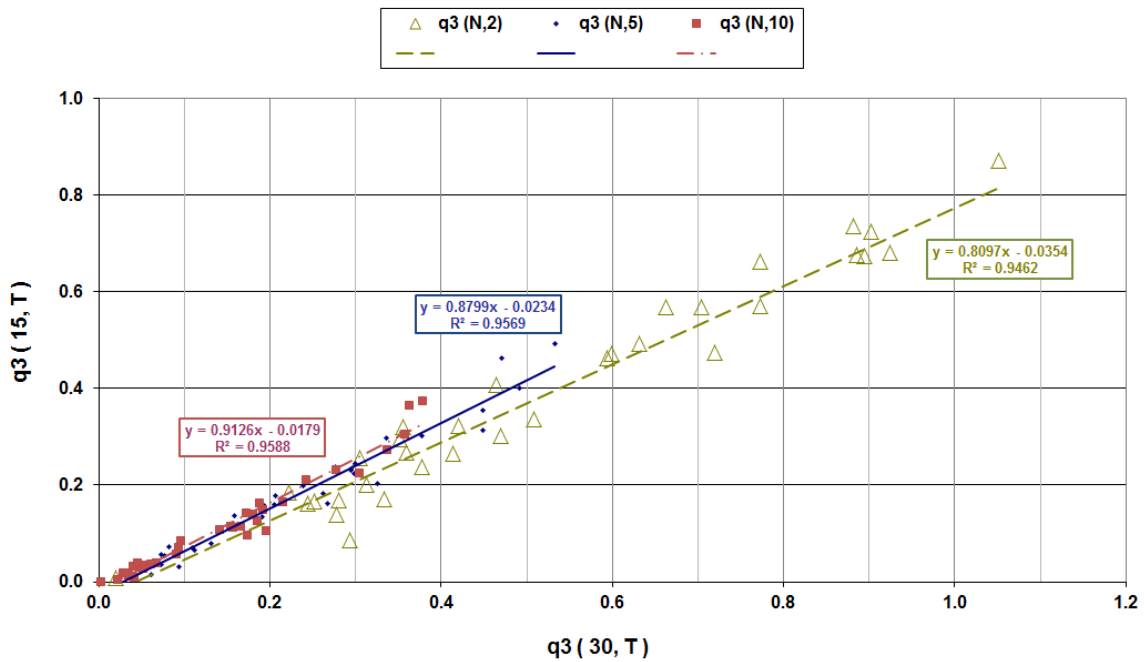


Figura IV-3.- Correlación entre $q_3(15, T)$ y $q_3(30, T)$ para distintos T años

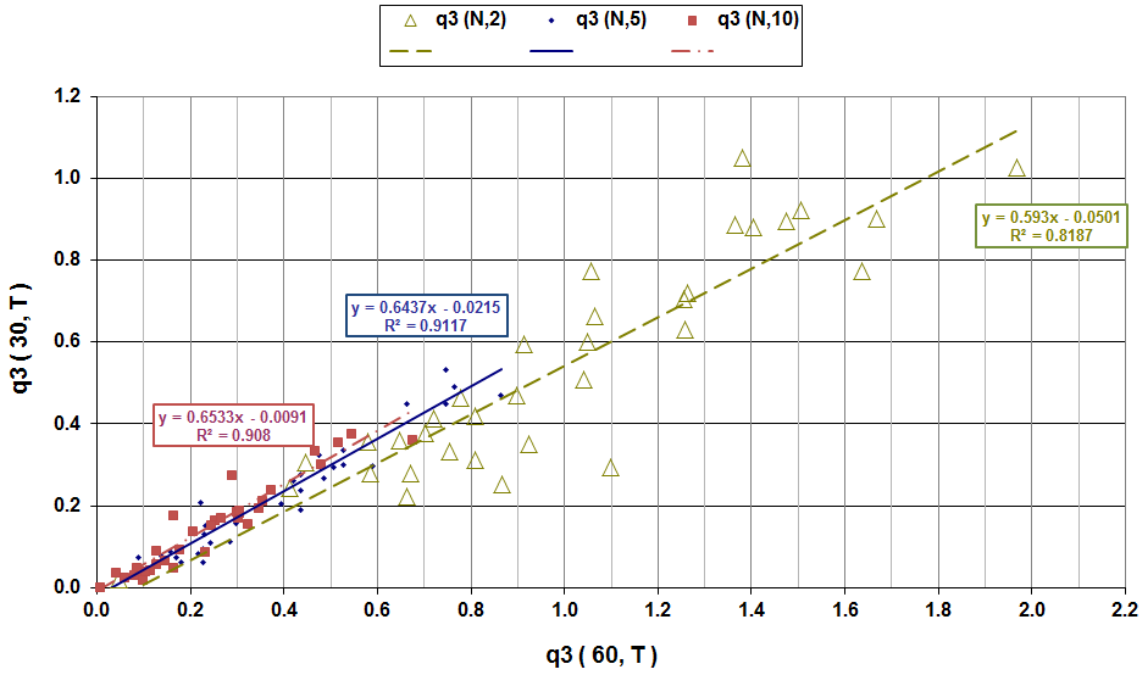


Figura IV-4.- Correlación entre $q_3(30, T)$ y $q_3(60, T)$ para distintos T (años)

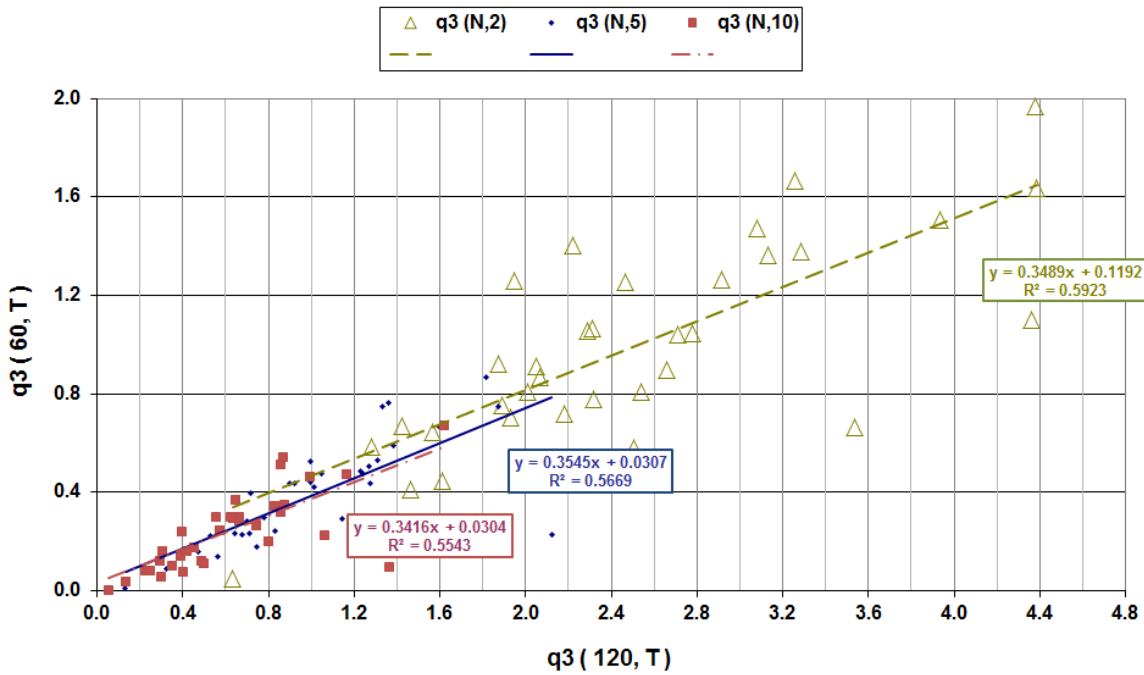


Figura IV-5.- Correlación entre $q_3(60, T)$ y $q_3(120, T)$ para distintos T (años)

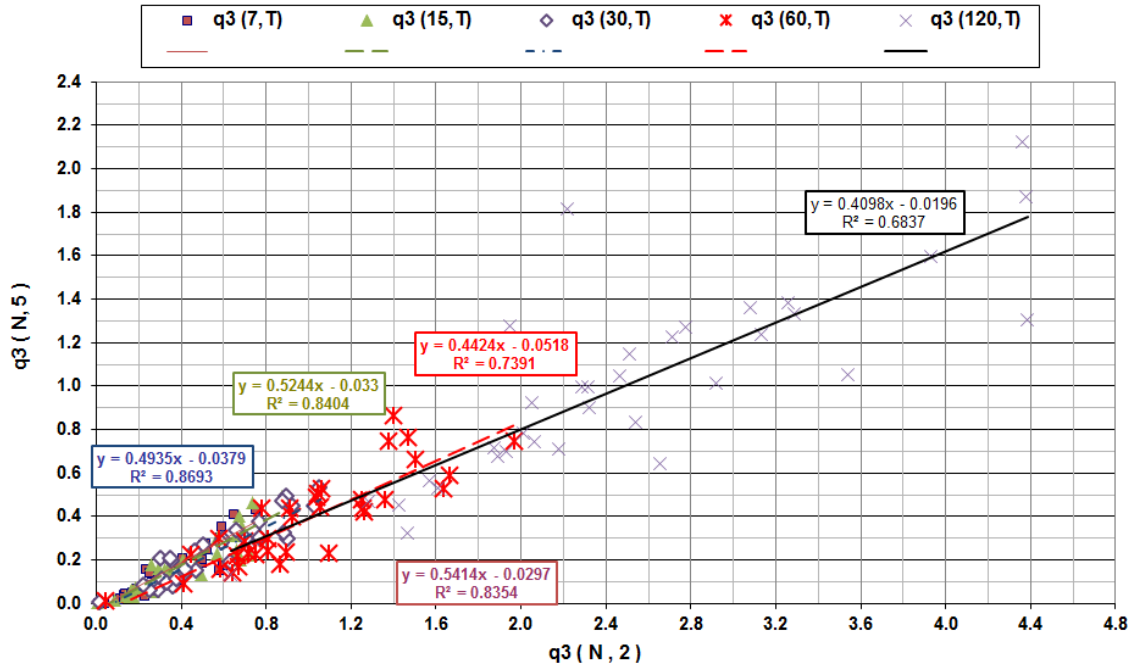


Figura IV-6.- Correlación entre $q_3(N, 5)$ y $q_3(N, 2)$ para distintas duraciones N (días)

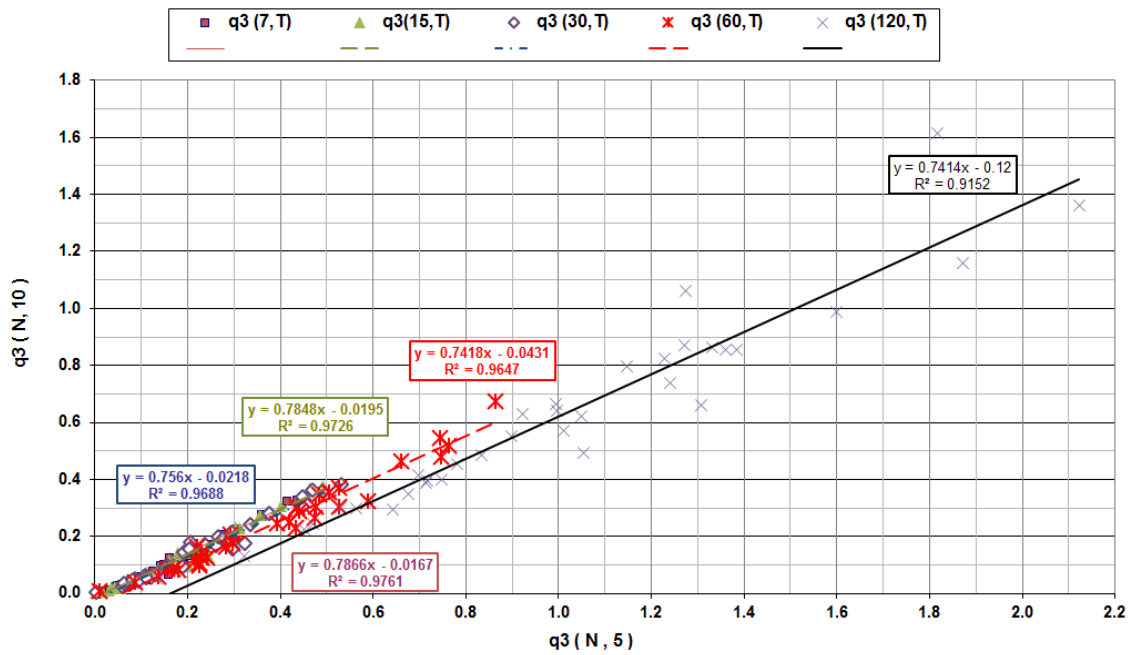


Figura IV-7.- Correlación entre $q_3(N, 10)$ y $q_3(N, 5)$ para distintas duraciones N (días)

A IV.2 – Correlaciones con $q_3(90\%)$

Las Figuras IV-8 a IV-10 muestran las mejores correlaciones halladas entre los estadísticos $q_3(90\%)$ y $q_3(N, T)$ para períodos de retorno T de 2, 5 y 10 años respectivamente.

Las Figuras IV-11 a IV-15 muestran las mejores correlaciones halladas entre esos mismos estadísticos para duraciones N de 7, 15, 30, 60 y 120 días respectivamente.

Se encuentra que el estadístico $q_3(90\%)$ tiene buenas correlaciones con casi todos los eventos $q_3(N, T)$ analizados, puesto que en la mayoría de los casos hay al menos una regresión con coeficiente de correlación R^2 mayor que 0.85 (salvo en la Figura IV-15 para $N = 120$ días). La mejor correlación se da con el estadístico $q_3(30, 5)$:

$$q_3(30, 5) \approx 0.90 \times q_3(90\%)$$

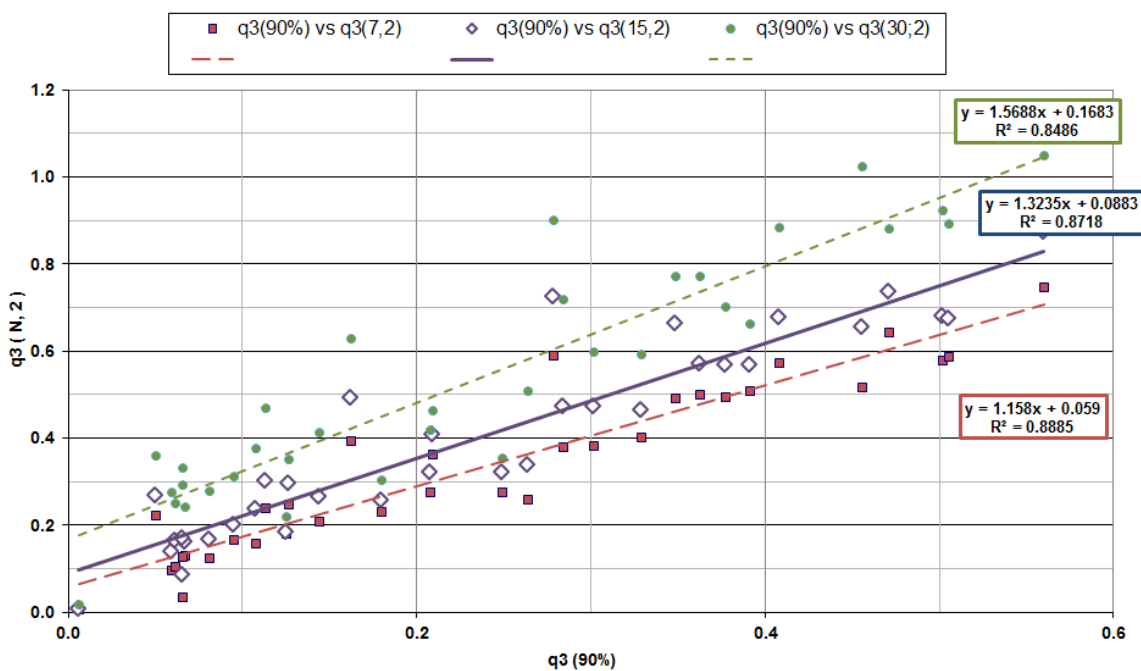


Figura IV-8.- Correlación entre $q_3(N, 2)$ y $q_3(90\%)$ para distintas duraciones N (días)

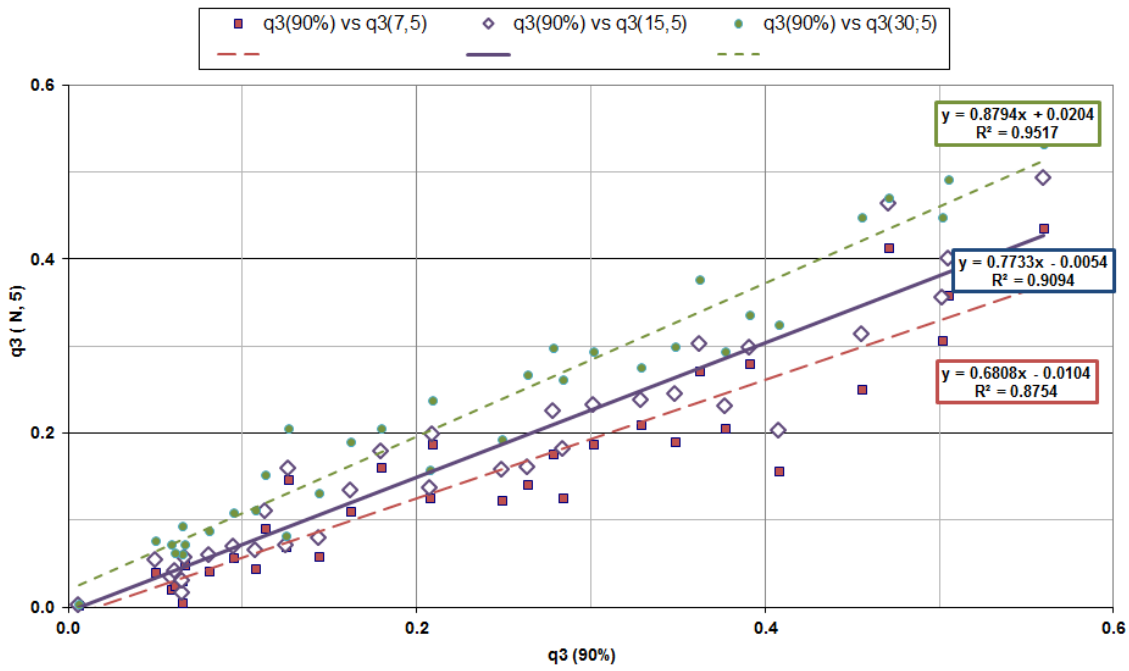


Figura IV-9.- Correlación entre $q_3(N, 5)$ y $q_3(90\%)$ para distintas duraciones N (días)

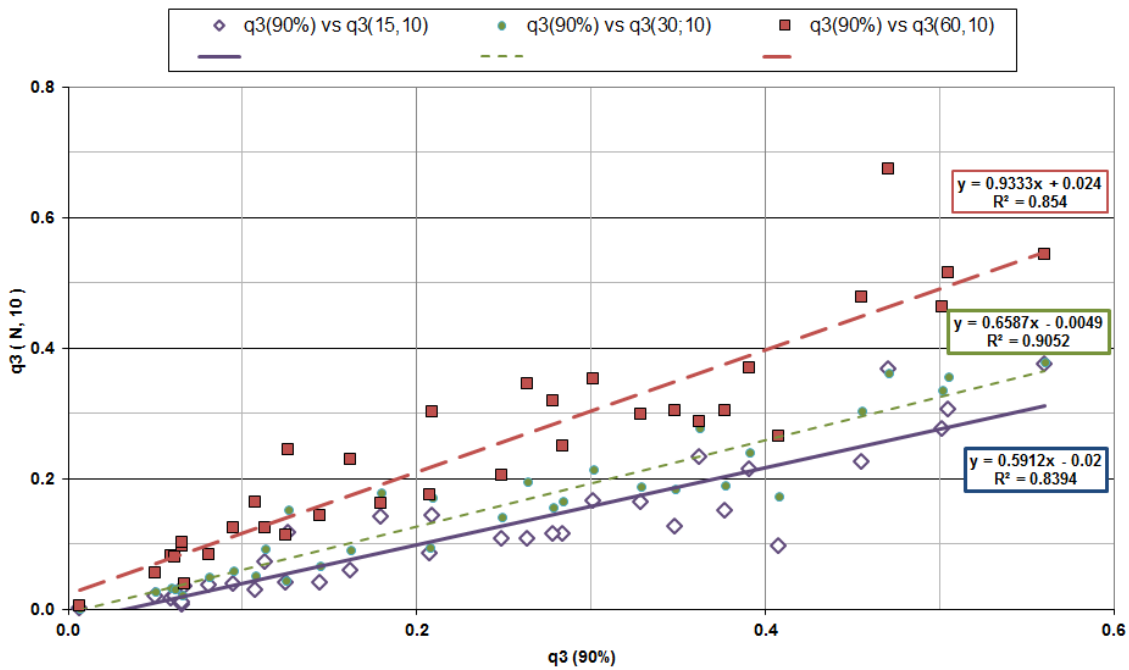


Figura IV-10.- Correlación entre $q_3(N, 10)$ y $q_3(90\%)$ para distintas duraciones N (días)

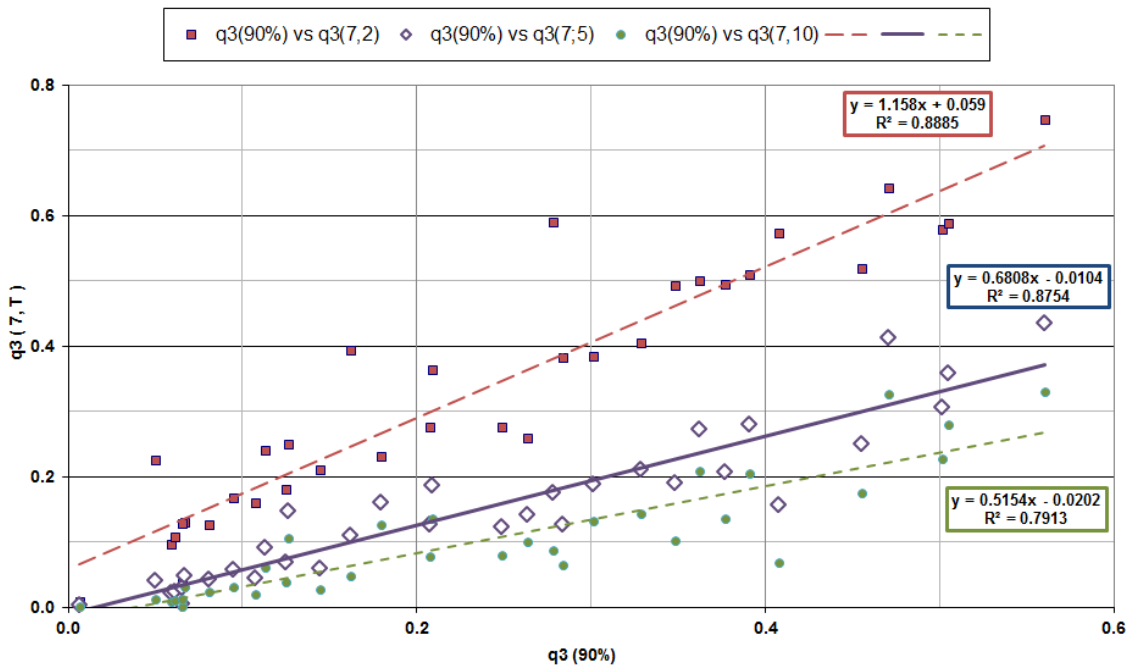


Figura IV-11.- Correlación entre $q_3(7, T)$ y $q_3(90\%)$ para distintos T (años)

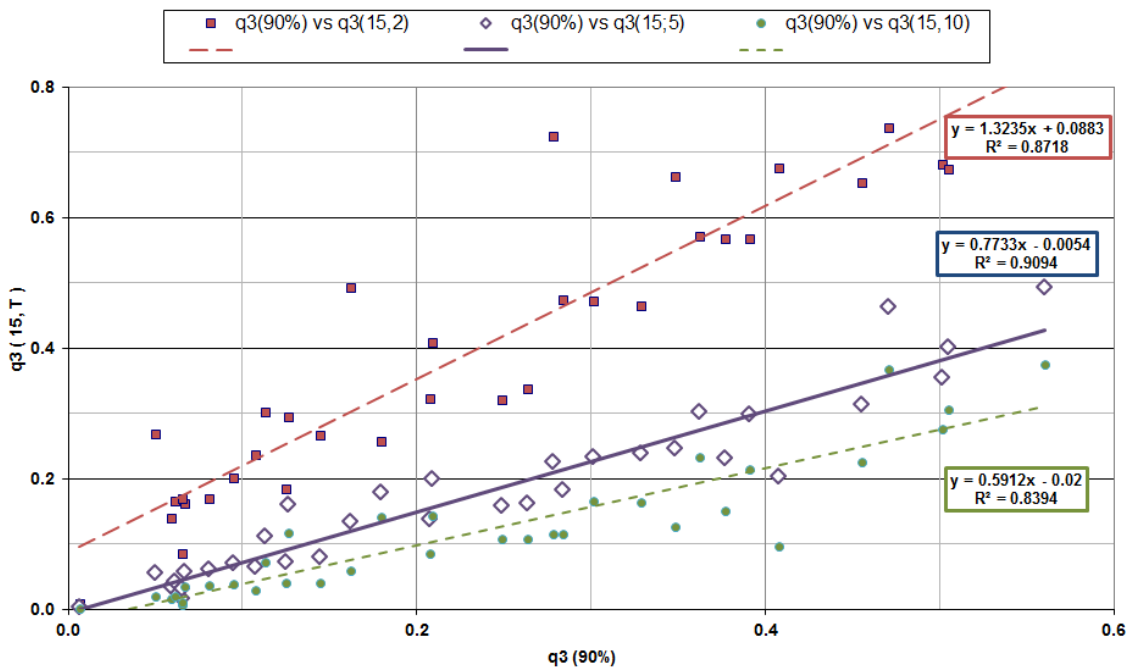


Figura IV-12.- Correlación entre $q_3(15, T)$ y $q_3(90\%)$ para distintos T (años)

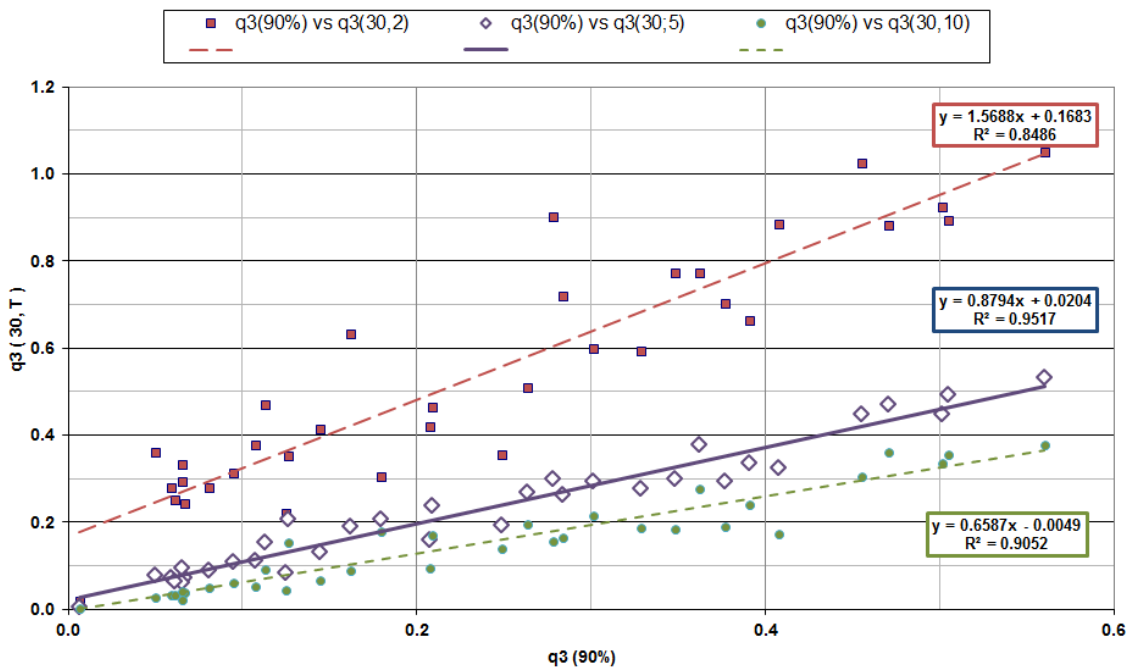


Figura IV-13.- Correlación entre $q_3(30, T)$ y $q_3(90\%)$ para distintos T (años)

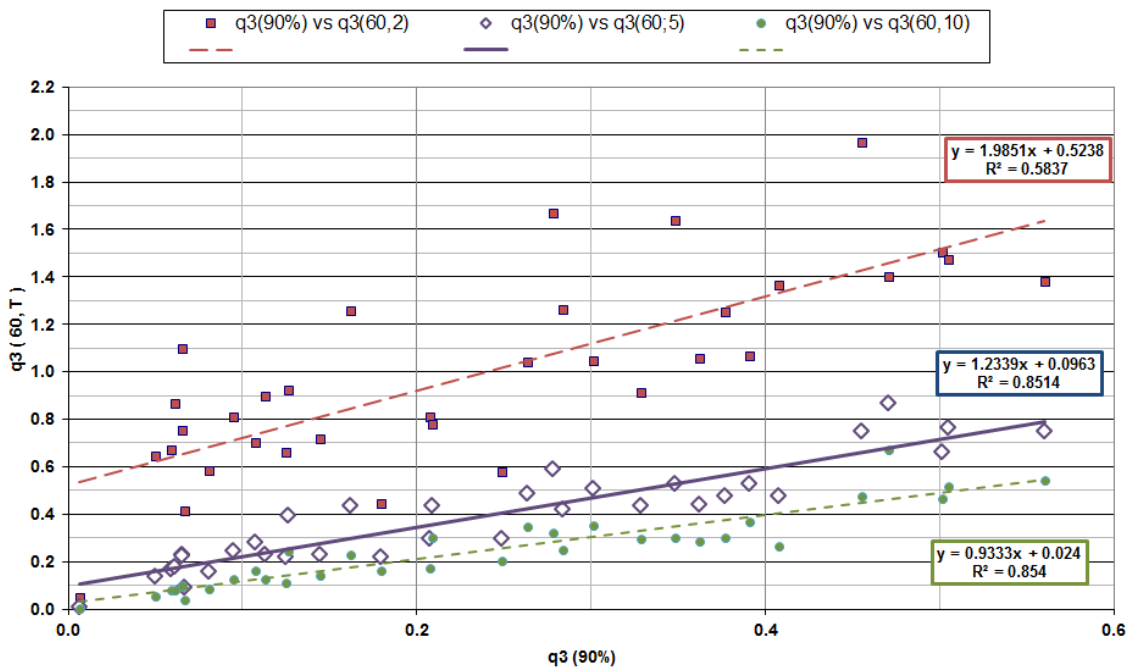


Figura IV-14.- Correlación entre $q_3(60, T)$ y $q_3(90\%)$ para distintos T (años)

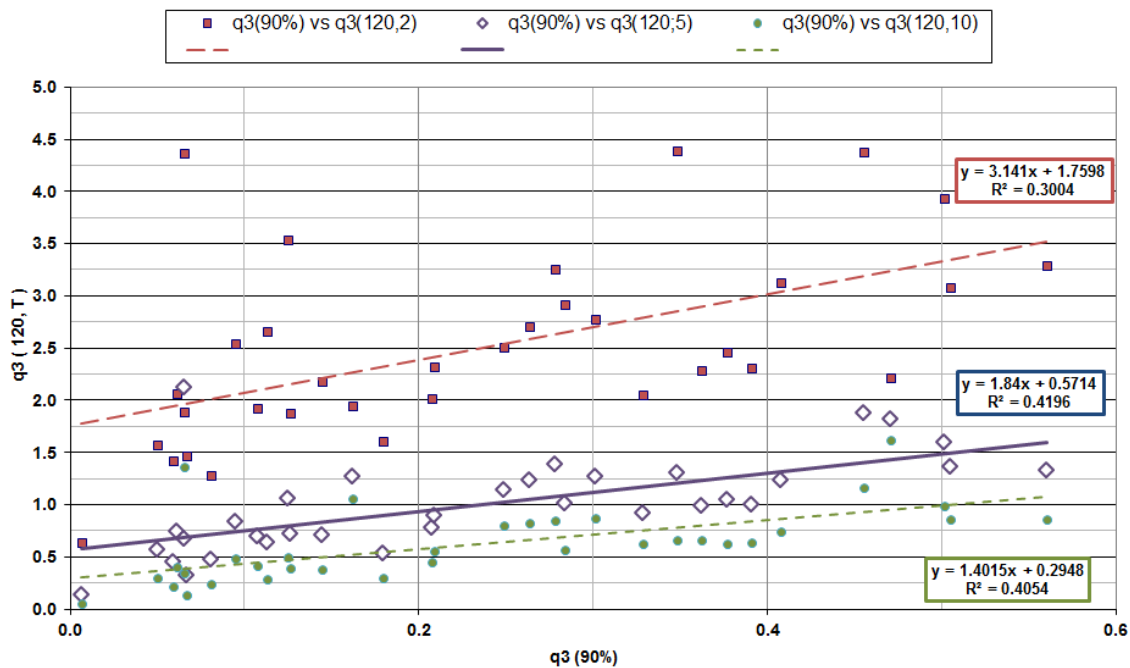


Figura IV-15.- Correlación entre $q_3(120, T)$ y $q_3(90\%)$ para distintos T (años)

A IV.3 – Correlaciones con $q_3(80\%)$

Las Figuras IV-16 a IV-18 muestran las mejores correlaciones entre los estadísticos $q_3(80\%)$ y $q_3(N, T)$ para períodos de retorno T de 2, 5 y 10 años respectivamente.

Las Figuras IV-19 a IV-23 muestran las mejores correlaciones halladas entre esos mismos estadísticos para duraciones N de 7, 15, 30, 60 y 120 días respectivamente.

Se encuentra que el estadístico $q_3(80\%)$ tiene correlaciones bastante altas con casi todos los eventos $q_3(N, T)$ analizados, puesto que por lo menos en una correlación de cada gráfico se tiene $R^2 \geq 0.90$, (salvo en la Figura IV-18 para $T = 10$ años y en la Figura IV-23 para $N = 120$ días).

La mejor correlación se da con $q_3(15, 2)$ y $q_3(30, 2)$:

$$q_3(15, 2) \approx 1.00 \times q_3(80\%)$$

$$q_3(30, 2) \approx 1.25 \times q_3(80\%)$$

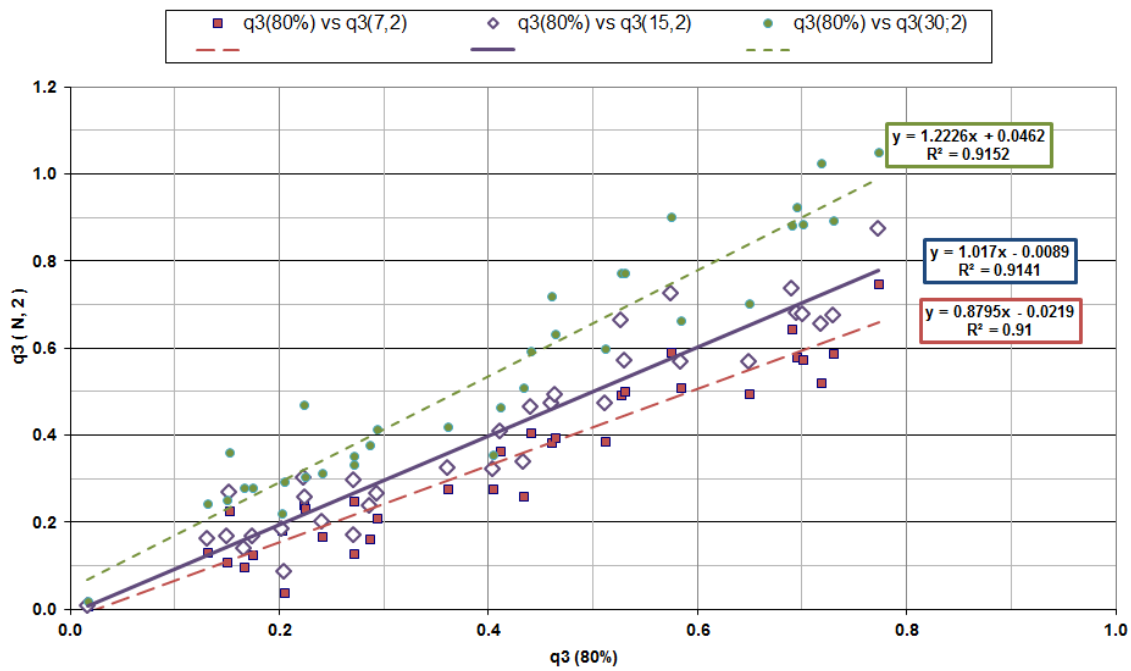


Figura IV-16.- Correlación entre $q_3(N, 2)$ y $q_3(80\%)$ para distintas duraciones N (días)

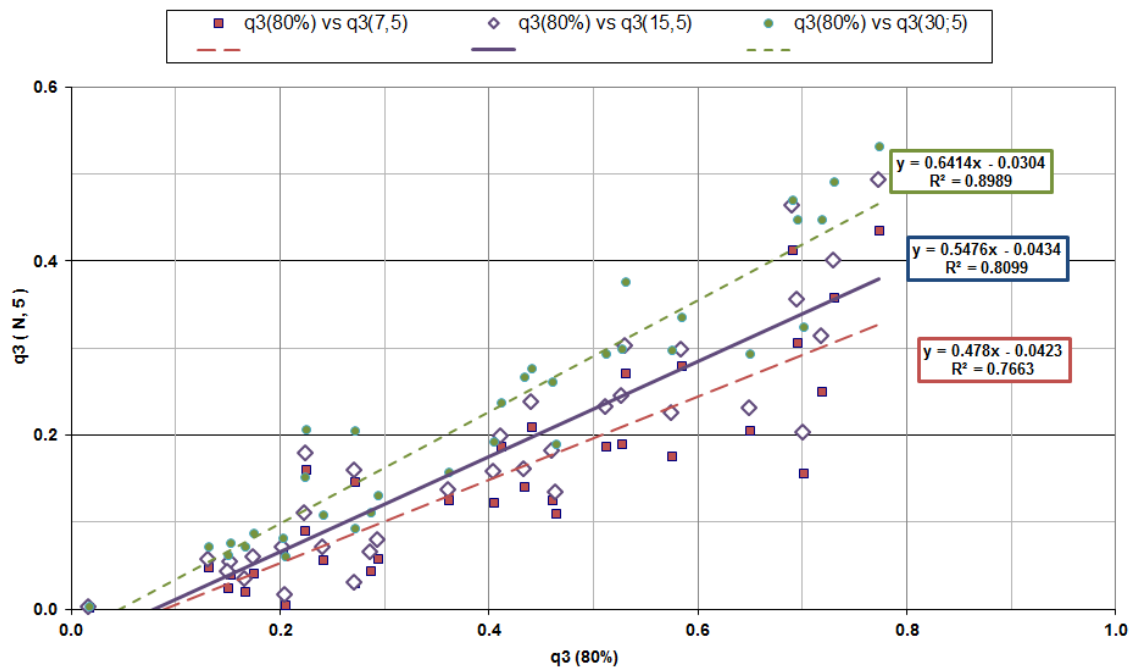


Figura IV-17.- Correlación entre $q_3(N, 5)$ y $q_3(80\%)$ para distintas duraciones N (días)

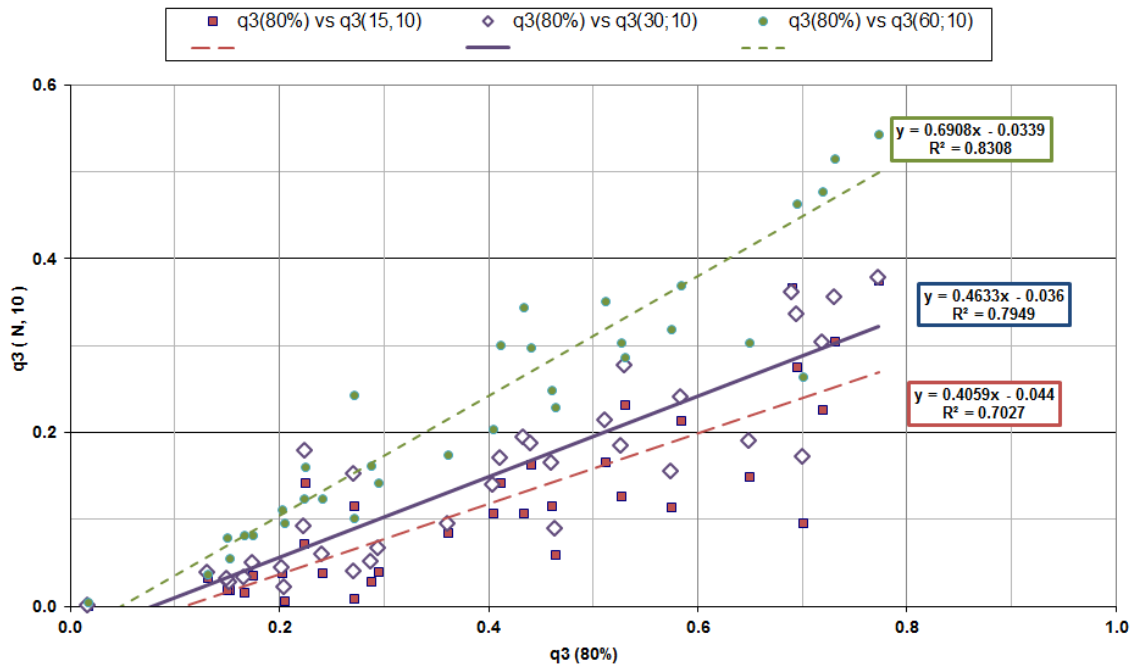


Figura IV-18.- Correlación entre $q_3(N, 10)$ y $q_3(80\%)$ para distintas duraciones N (días)

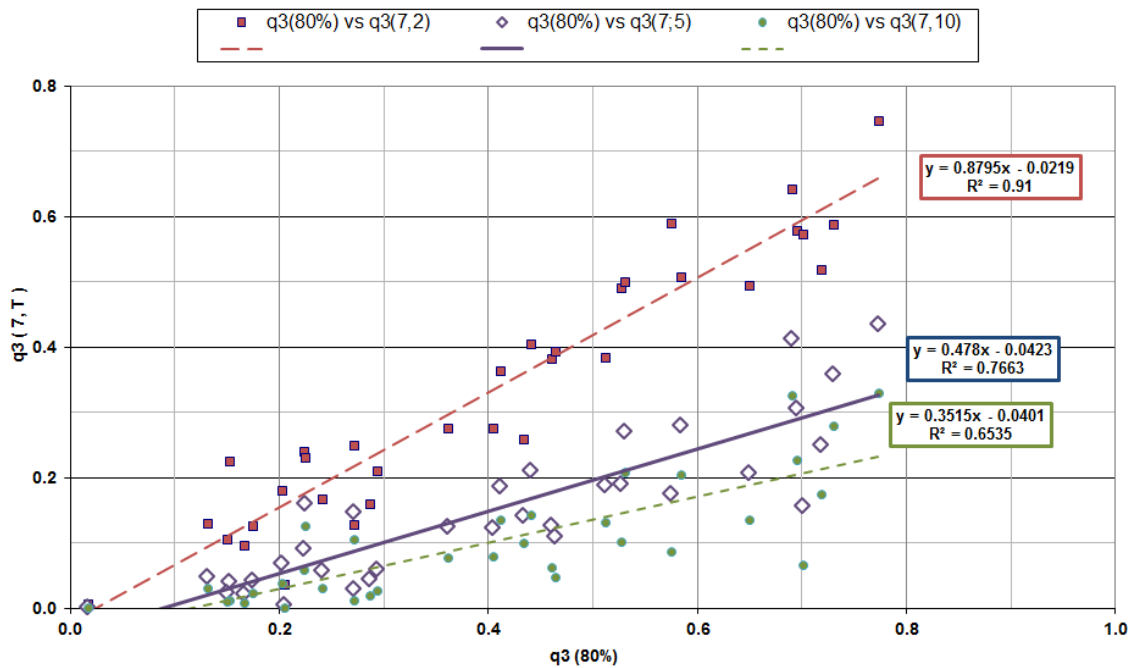


Figura IV-19.- Correlación entre $q_3(7, T)$ y $q_3(80\%)$ para distintos T (años)

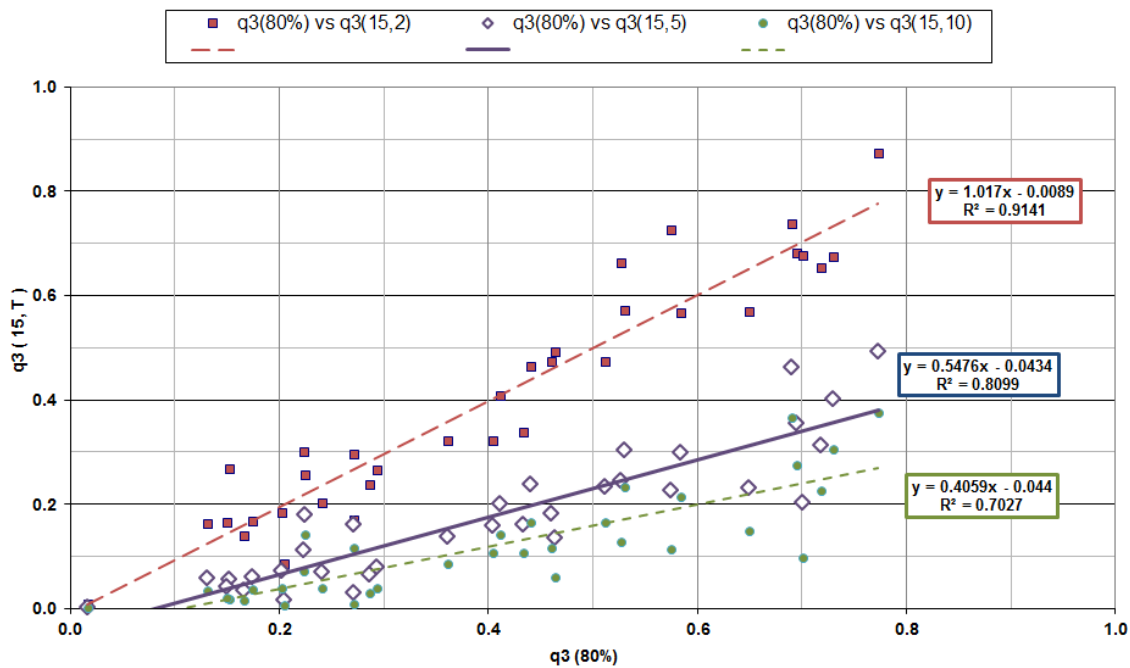


Figura IV-20.- Correlación entre $q_3(15, T)$ y $q_3(80\%)$ para distintos T (años)

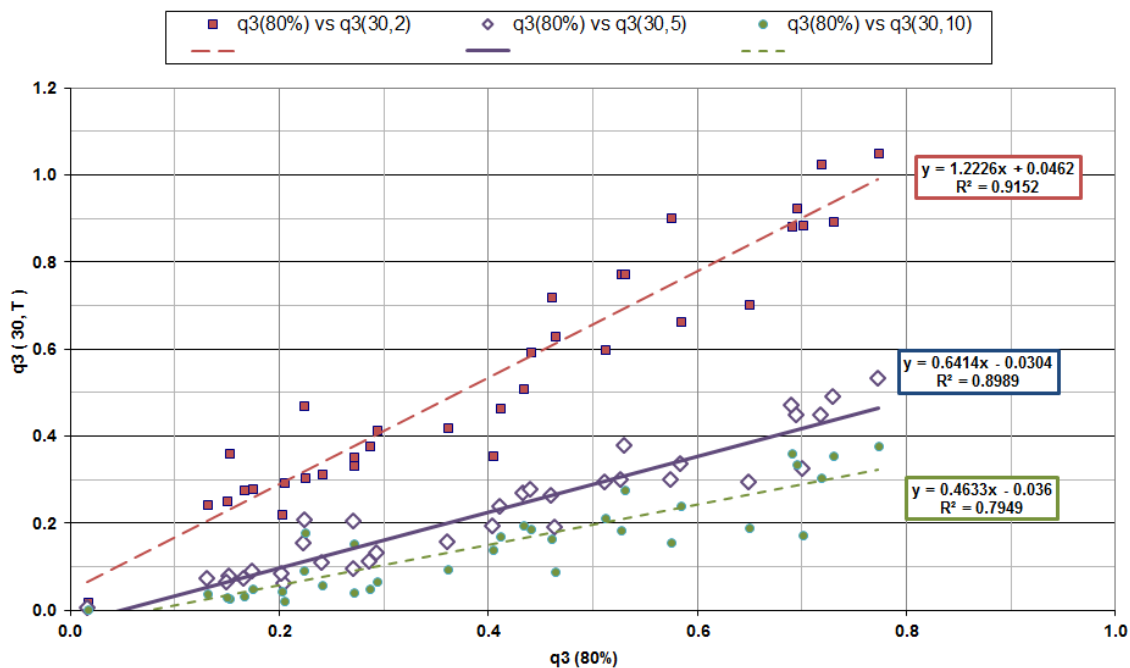


Figura IV-21.- Correlación entre $q_3(30, T)$ y $q_3(80\%)$ para distintos T (años)

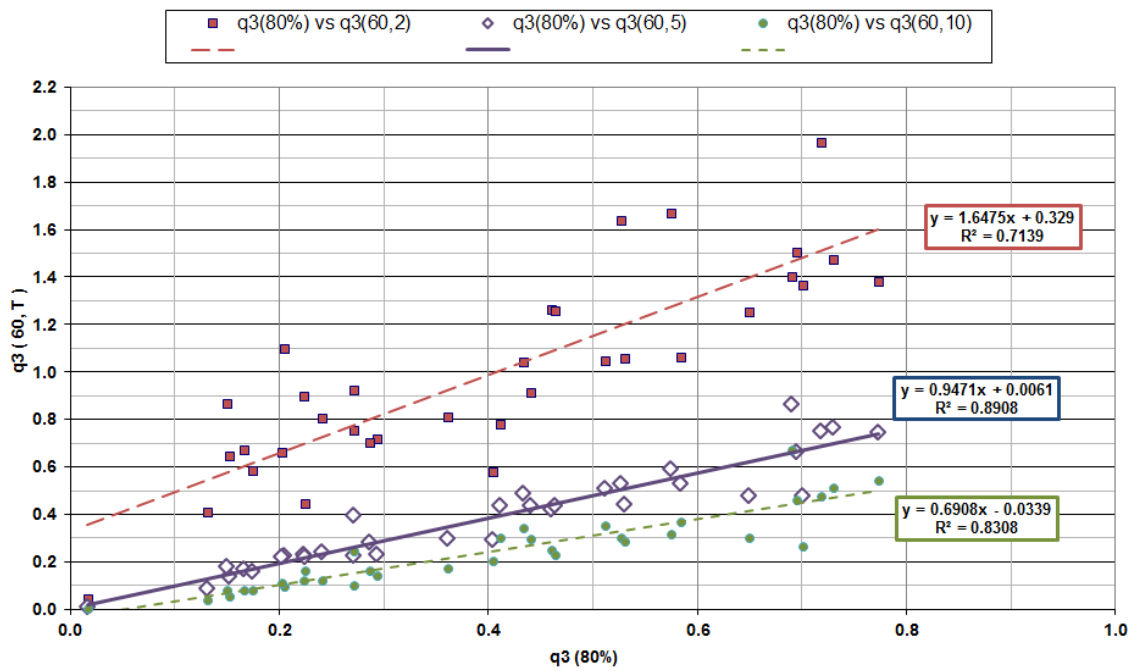


Figura IV-22.- Correlación entre $q_3(60, T)$ y $q_3(80\%)$ para distintos T (años)

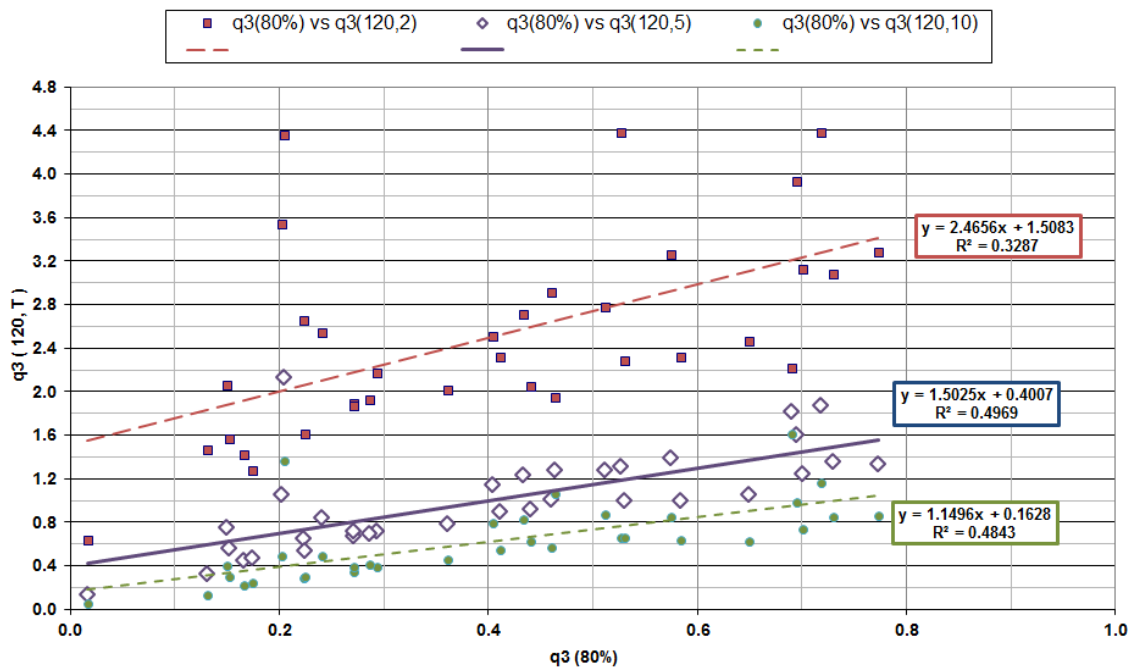


Figura IV-23.- Correlación entre $q_3(120, T)$ y $q_3(80\%)$ para distintos T (años)

A IV.4 – Correlaciones con $q_3(60\%)$

Las Figuras IV-24 a IV-26 muestran las mejores correlaciones entre los estadísticos $q_3(60\%)$ y $q_3(N, T)$ para períodos de retorno T de 2, 5 y 10 años respectivamente.

Las Figuras IV-27 a IV-31 muestran las mejores correlaciones halladas entre esos mismos estadísticos para duraciones N de 7, 15, 30, 60 y 120 días respectivamente.

Para estos casos las correlaciones halladas son notoriamente más pobres que con $q_3(80\%)$ y $q_3(90\%)$, en tanto solo dos tienen $R^2 \geq 0.80$ ($q_3(15, 2)$ y $q_3(30, 2)$).

Para la mayoría de los casos el ajuste por regresión de cualquiera de los eventos $q_3(N, T)$ resulta muy inferior al valor correspondiente al estadístico $q_3(60\%)$ y solamente con eventos de más de 60 días se obtienen magnitudes semejantes o superiores:

$$q_3(60, 2) \approx 0.95 \times q_3(60\%)$$

$$q_3(120, 2) > 1.50 \times q_3(60\%)$$

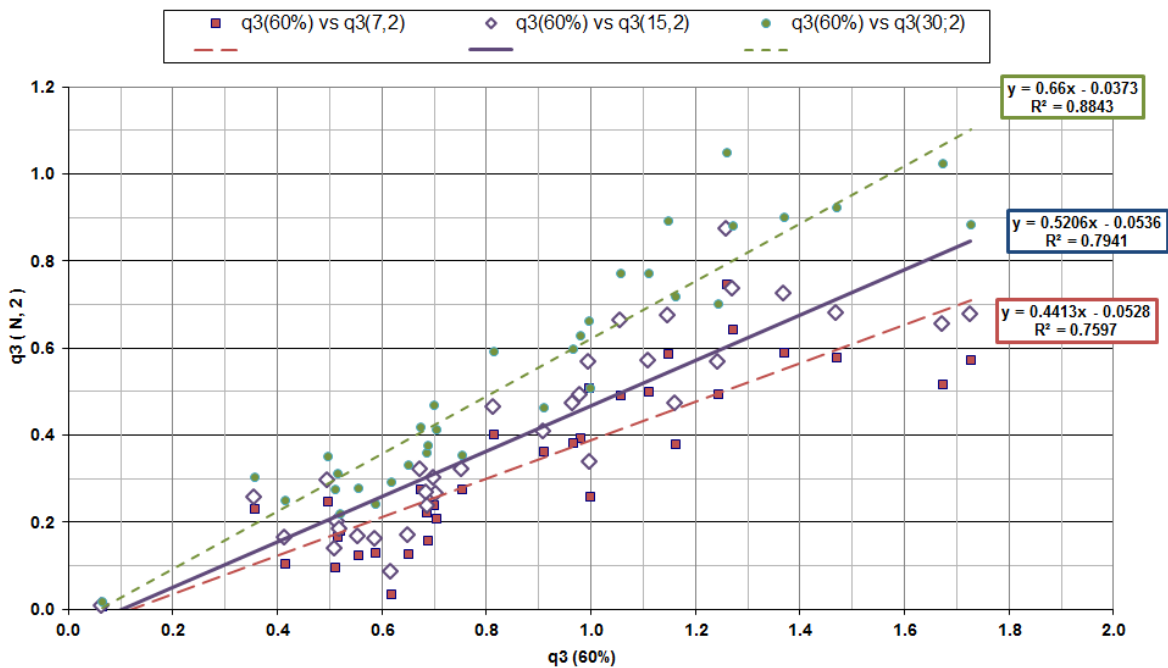


Figura IV-24.- Correlación entre $q_3(N, 2)$ y $q_3(60\%)$ para distintas duraciones N (días)

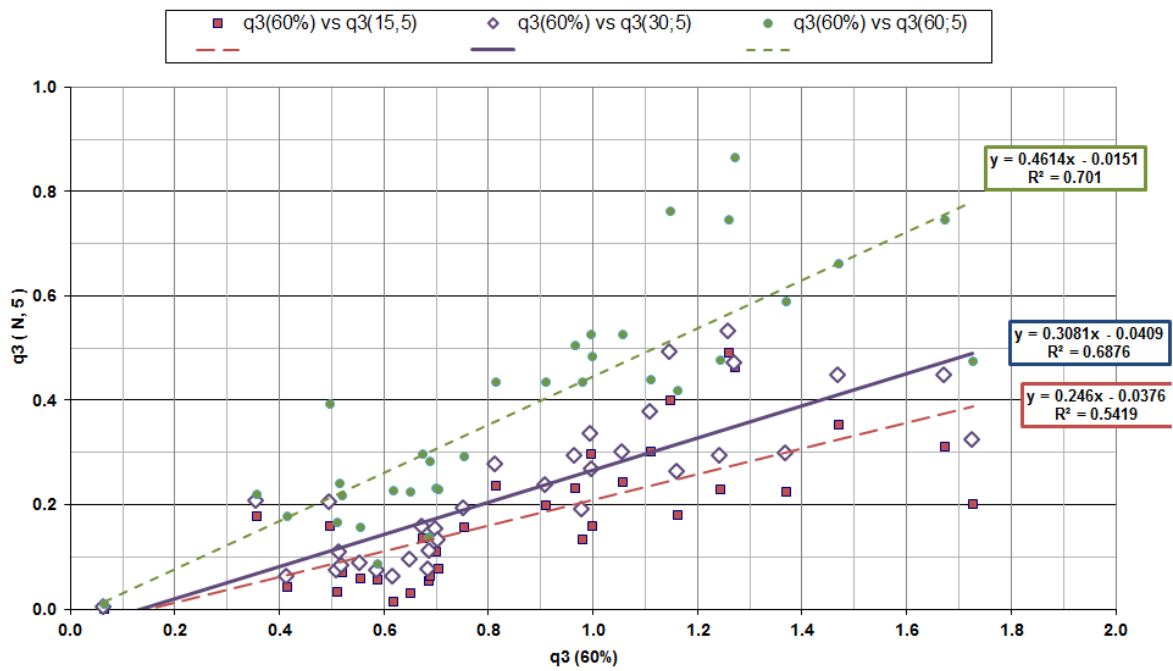


Figura IV-25.- Correlación entre $q_3(N, 5)$ y $q_3(60\%)$ para distintas duraciones N (días)

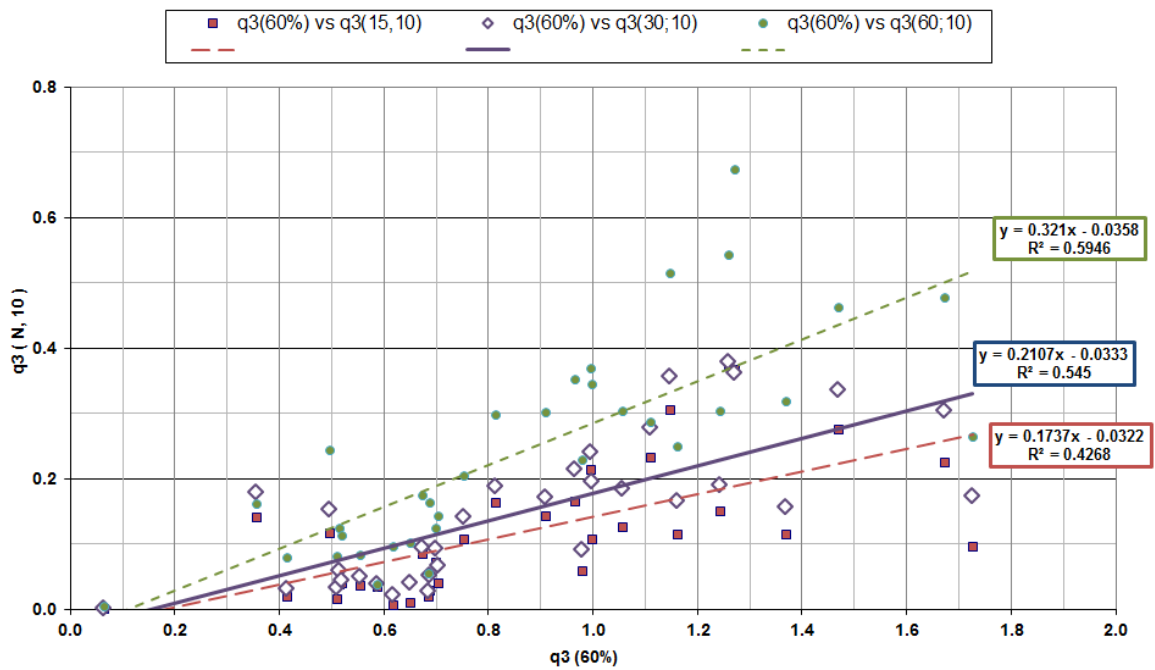


Figura IV-26.- Correlación entre $q_3(N, 10)$ y $q_3(60\%)$ para distintas duraciones N (días)

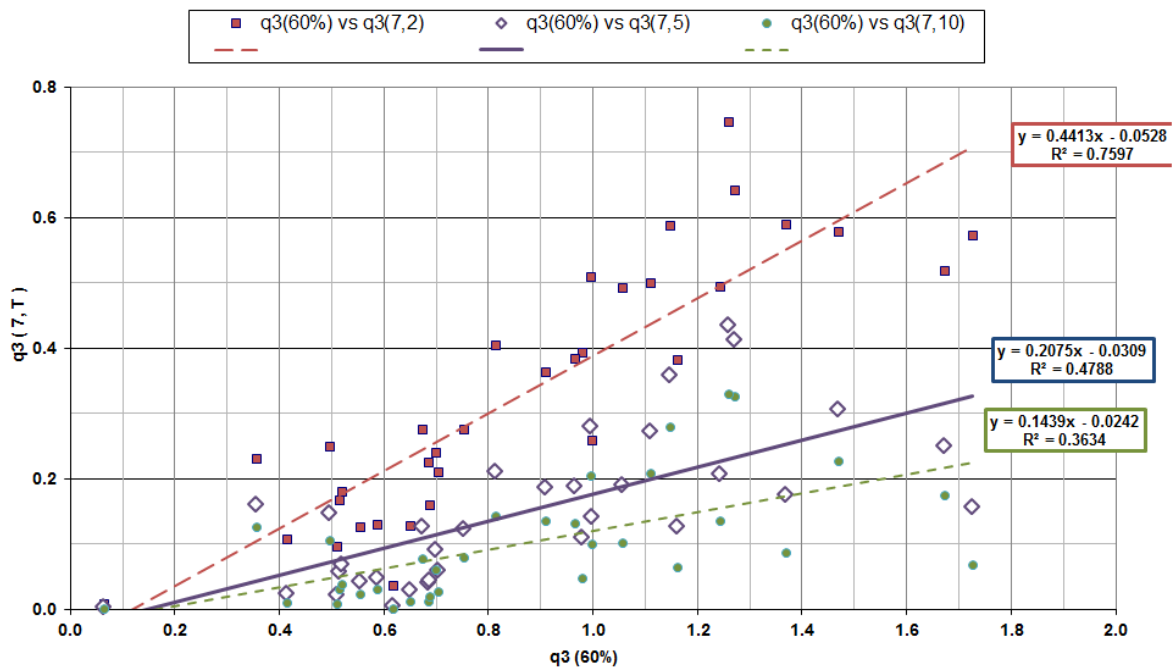


Figura IV-27.- Correlación entre $q_3(7, T)$ y $q_3(60\%)$ para distintos T (años)

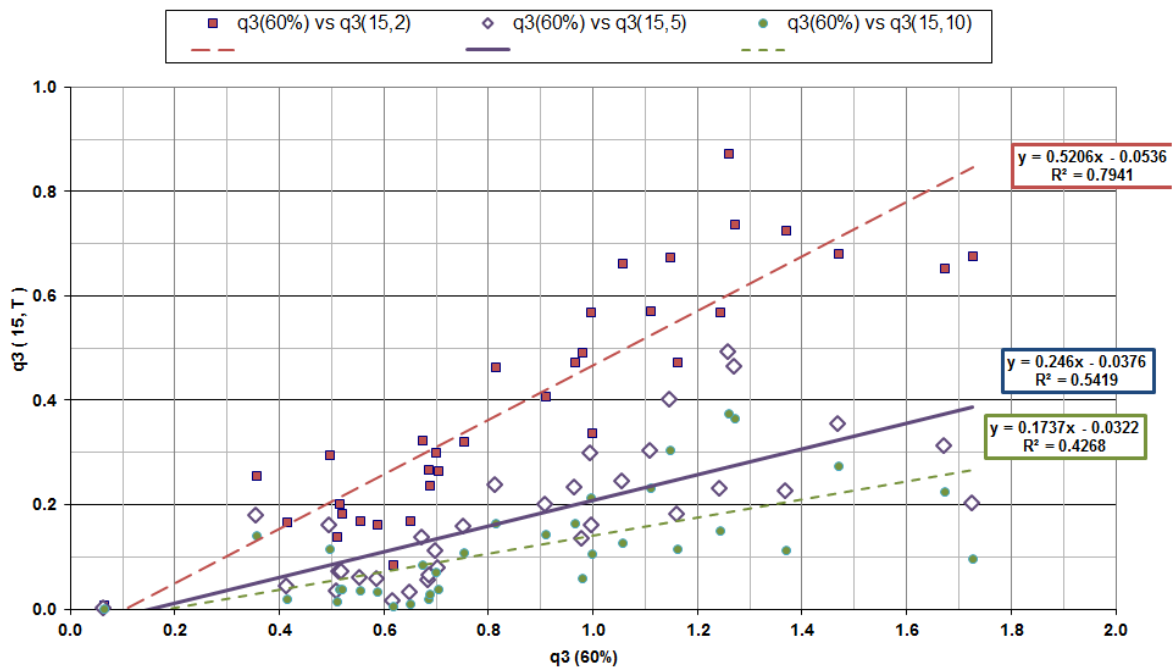


Figura IV-28.- Correlación entre $q_3(15, T)$ y $q_3(60\%)$ para distintos T (años)

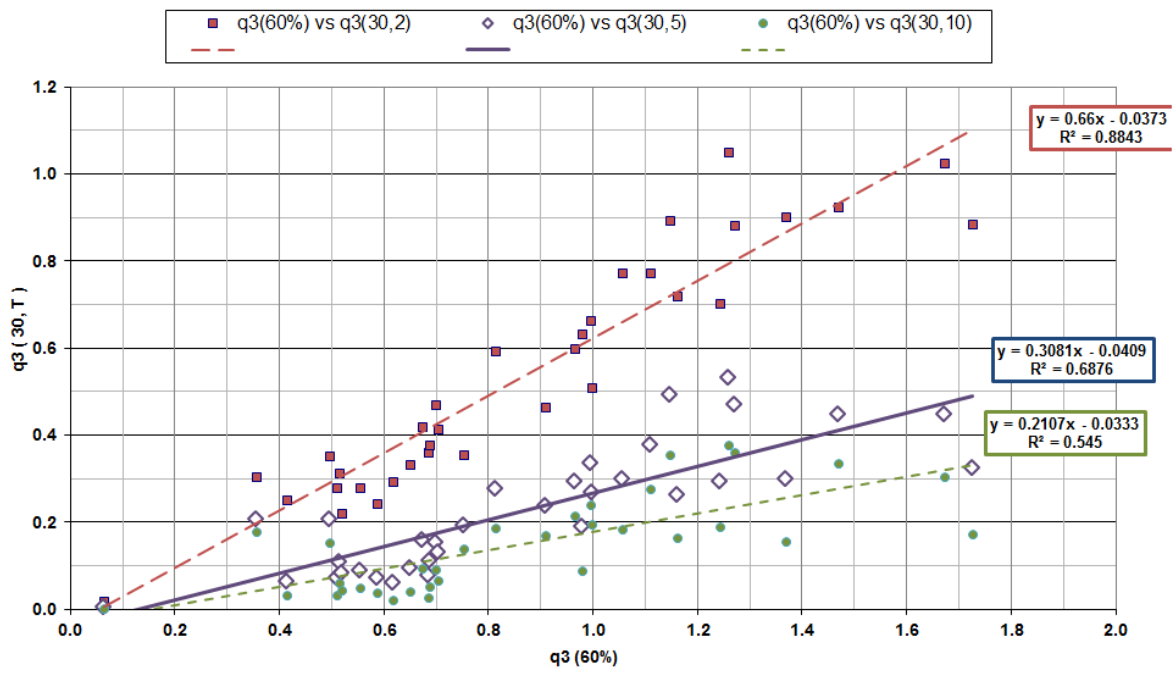


Figura IV-29.- Correlación entre $q_3(30, T)$ y $q_3(60\%)$ para distintos T (años)

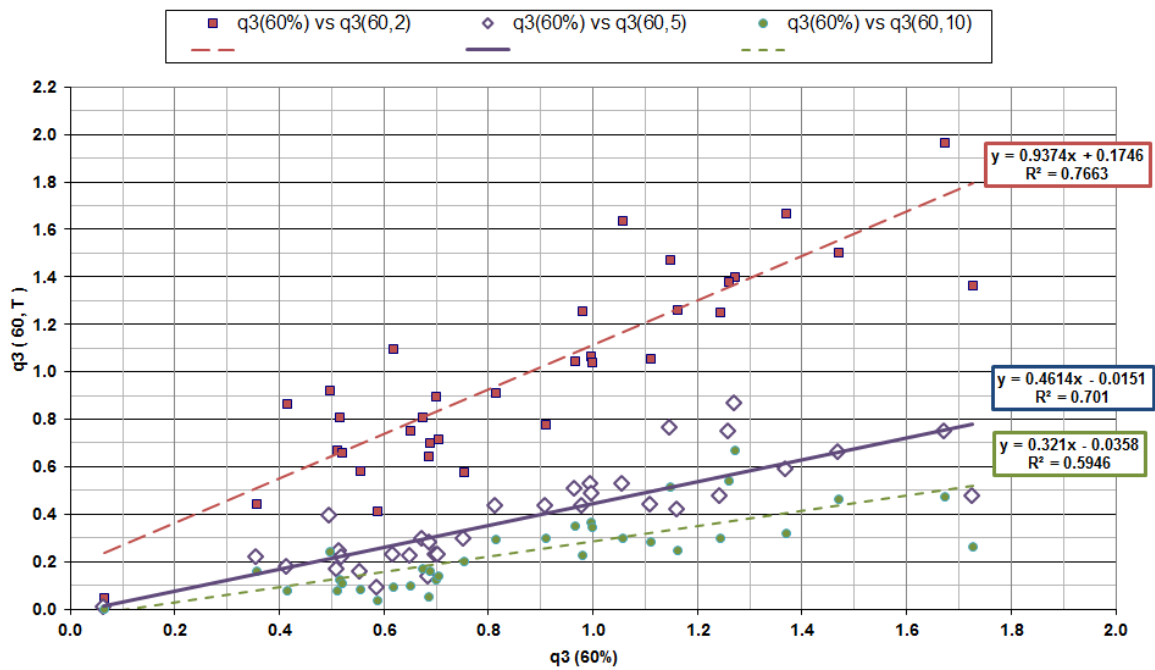


Figura IV-30.- Correlación entre $q_3(60, T)$ y $q_3(60\%)$ para distintos T (años)

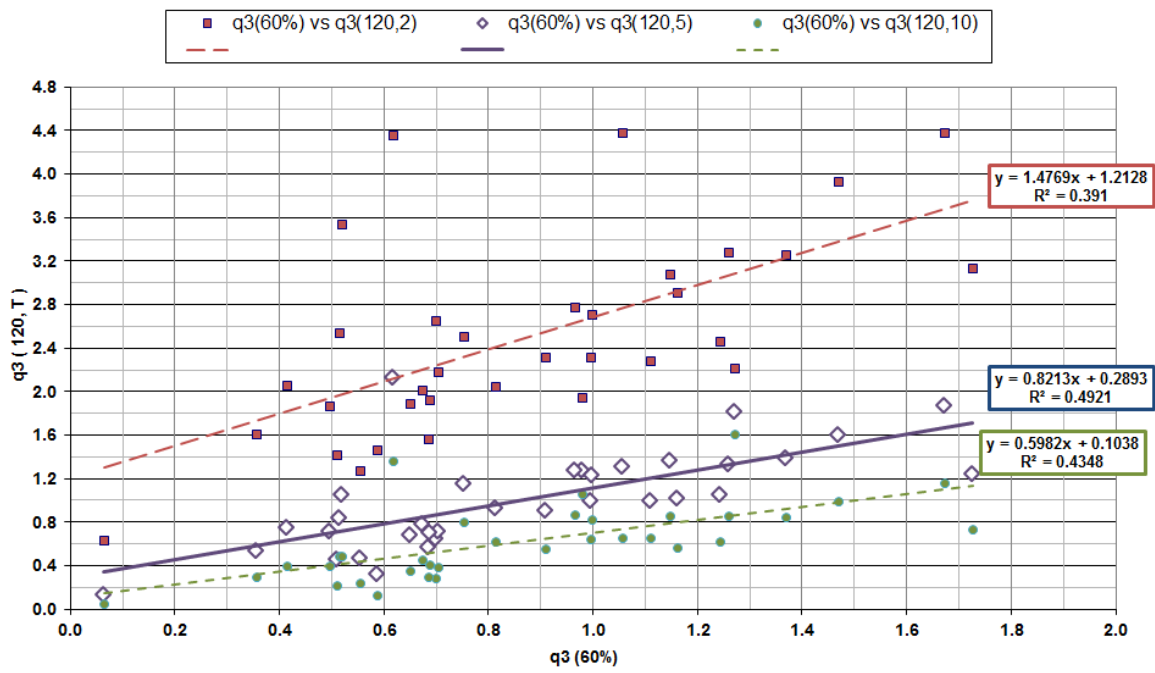


Figura IV-31.- Correlación entre $q_3(120, T)$ y $q_3(60\%)$ para distintos T (años)

ANEXO V

CAUDALES MENSUALES MEDIOS Y ESTACIONALES POR SUBCUENCA

Se presenta a continuación un resumen de los resultados del modelo de Balance Hidrológico Superficial en subcuencas de nivel 2 para el período 1980-2012, desarrollado en 2014 por DINAGUA.

Los datos por subcuenca se presentan agrupados a su vez según la regionalización propuesta en el documento. Para cada mes y cuatrimestre del año se indica el **caudal específico medio** ($l/s/km^2$) estimado por el balance **en la sección de cierre de cada subcuenca**. Al interior de cada subcuenca, en los límites entre regiones y sobre todo en cuencas menores donde no existen series estadísticas de observación directa, los valores indicados deben utilizarse con precaución, evaluando complementariamente otros criterios hidrográficos de valoración (tipos de suelo y coberturas, topografía, tamaño de cuencas, etc.).

TABLA V-I – CAUDALES ESPECÍFICOS PROMEDIOS POR SUBCUENCA Y REGIÓN

REGIÓN	CUENCA NIVEL 2	Caudal específico (l/s/km ²)															
		ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL	ABR-JUL	AGO-NOV	DIC-MAR
NO	10	26.8	21.8	18.4	15.9	11.5	16.3	18.8	20.0	13.0	12.9	13.4	13.3	16.8	20.7	16.6	13.1
	11	24.7	18.2	17.6	11.6	8.9	12.0	17.3	17.9	12.7	13.9	9.7	10.6	14.6	18.0	14.0	11.7
	12	26.0	20.7	20.3	12.9	10.3	13.8	17.2	15.7	11.6	10.1	14.8	14.7	15.7	20.0	14.3	12.8
	13	21.5	21.1	20.0	14.1	10.9	13.7	16.7	14.0	10.8	8.1	12.3	11.4	14.5	19.2	13.8	10.6
NE	14	18.6	17.7	15.0	8.0	6.7	9.1	17.3	12.3	10.6	8.4	10.5	12.4	12.2	14.8	11.3	10.5
	51	19.5	23.3	22.0	22.0	16.7	20.6	20.2	18.9	12.4	7.5	9.7	8.8	16.8	21.7	19.1	9.6
O	52	17.1	24.2	21.7	19.8	16.1	18.9	19.5	17.5	12.2	8.2	11.6	9.4	16.4	20.7	18.0	10.4
	15	19.1	18.7	16.3	11.2	8.8	10.4	14.2	12.1	10.1	7.9	12.8	10.9	12.7	16.3	11.4	10.4
	16	17.8	18.1	13.4	11.5	10.1	10.8	14.5	14.6	10.6	7.7	14.6	10.8	12.8	15.2	12.5	10.9
	17	16.3	18.0	15.8	14.1	10.3	10.8	11.8	11.7	9.3	6.4	14.4	8.9	12.3	16.1	11.2	9.8
	18	11.1	12.3	11.2	9.8	9.7	8.3	12.6	9.6	7.6	4.8	12.7	7.7	9.8	11.1	10.0	8.2
	19	5.4	9.8	9.5	9.3	11.0	10.2	16.8	10.6	6.8	3.4	7.7	9.2	9.2	8.5	12.2	6.8
	57	7.8	13.0	12.8	12.9	14.0	12.0	19.0	11.9	9.0	4.7	9.2	10.1	11.4	11.6	14.2	8.3
SO	58	11.1	13.9	13.2	12.3	11.9	10.2	14.7	10.1	8.6	5.9	13.7	9.8	11.3	12.6	11.8	9.5
	20	3.1	4.7	5.2	6.1	7.6	7.4	11.4	8.6	5.5	2.0	4.0	8.3	6.2	4.8	8.7	4.9
	21	4.1	6.1	7.0	7.1	8.5	8.5	12.5	9.4	5.5	2.2	4.3	8.4	7.0	6.1	9.7	5.1
	22	4.5	6.3	6.9	6.6	8.1	8.0	11.9	9.3	5.9	2.1	3.6	7.0	6.7	6.1	9.3	4.6
CS	23	5.8	9.7	10.2	12.0	13.4	12.3	16.3	10.0	6.4	3.2	4.5	8.6	9.4	9.4	13.0	5.7
	65	7.1	11.9	14.0	15.1	15.8	13.7	16.8	10.8	7.0	3.5	5.4	9.0	10.9	12.0	14.2	6.2
	24	5.6	9.8	11.3	13.0	14.3	13.5	16.9	10.6	6.4	3.1	3.2	6.8	9.6	9.9	13.8	4.9
	56	10.0	16.2	20.2	19.6	19.0	16.4	18.1	11.7	6.7	3.9	9.2	9.3	13.4	16.5	16.3	7.3
S	61	7.4	12.0	18.7	19.5	20.1	17.0	18.1	11.4	6.8	3.4	6.0	9.0	12.5	14.4	16.7	6.3
	62	6.7	10.7	16.4	17.0	17.2	15.6	17.5	10.9	6.5	3.1	4.1	7.9	11.2	12.7	15.3	5.4
	26	5.7	9.3	14.2	16.4	17.0	14.9	15.7	10.5	5.3	2.8	2.3	6.3	10.1	11.4	14.5	4.2
	27	6.6	11.0	17.2	19.0	20.1	16.0	17.1	10.5	6.0	3.1	3.8	7.7	11.6	13.5	15.9	5.1
	60	7.7	11.5	19.3	20.9	22.0	17.7	18.9	11.4	6.9	3.2	6.3	8.8	12.9	14.8	17.5	6.3
	63	5.5	8.9	13.6	15.5	15.6	14.2	15.5	10.1	5.4	2.6	2.4	6.6	9.7	10.9	13.8	4.3
	64	5.0	8.3	12.3	14.5	14.6	13.4	14.8	9.7	5.4	2.5	2.0	6.4	9.1	10.0	13.1	4.1
	66	4.6	7.8	11.2	13.6	13.8	12.9	14.4	9.6	5.4	2.6	1.7	6.1	8.7	9.3	12.7	4.0
SE	67	5.1	8.6	12.7	15.1	15.3	13.7	14.7	9.9	5.3	2.7	2.0	6.5	9.4	10.4	13.4	4.1
	68	4.6	8.0	11.9	14.9	15.2	13.9	14.9	10.1	5.1	2.6	1.8	5.7	9.1	9.9	13.5	3.8
	28	6.0	11.2	19.0	22.1	23.4	17.2	18.1	10.8	6.6	2.8	5.0	7.7	12.5	14.6	17.4	5.5
	29	5.7	10.9	19.2	23.0	22.6	16.1	16.3	10.1	6.1	2.6	4.6	7.2	12.1	14.7	16.3	5.1
	30	6.2	11.0	19.6	23.2	23.0	16.5	16.2	10.0	6.1	2.7	5.0	7.5	12.3	15.0	16.4	5.3
	31	8.5	12.5	20.6	24.0	24.0	17.2	16.9	9.4	5.2	2.7	4.1	9.6	13.0	16.4	16.9	5.4
	32	7.3	11.4	19.0	23.6	24.3	17.7	17.0	9.4	4.7	2.3	3.1	8.2	12.4	15.3	17.1	4.6
	33	7.0	12.7	18.9	24.1	24.2	18.6	15.2	10.2	5.3	2.7	6.1	6.8	12.7	15.7	17.0	5.2
	40	15.1	21.1	25.0	30.8	24.4	24.3	19.1	16.4	8.1	4.8	11.2	9.5	17.5	23.0	21.1	8.4
	42	9.7	15.9	22.5	28.1	24.5	21.3	16.6	13.3	7.1	4.7	10.6	6.2	15.1	19.0	18.9	7.1
CE	43	16.5	25.2	29.7	30.8	25.9	23.1	18.9	14.7	10.4	7.1	15.0	10.3	19.0	25.6	20.7	10.7
	44	12.1	17.9	25.2	27.7	25.5	21.7	18.5	12.3	7.7	4.7	11.5	9.3	16.2	20.7	19.5	8.3
	45	8.0	14.4	20.9	25.0	24.4	19.8	16.0	11.1	6.5	3.5	8.1	6.8	13.7	17.1	17.8	6.2
	41	13.6	19.1	23.8	30.3	23.2	23.0	17.5	15.3	7.7	4.9	11.9	8.2	16.6	21.7	19.8	8.2
	50	15.2	21.6	25.8	29.2	21.6	22.8	18.6	16.3	9.3	5.2	8.1	6.4	16.7	22.9	19.8	7.2
	53	16.3	21.7	23.8	25.0	18.2	21.4	18.7	18.2	10.0	5.9	8.5	6.7	16.2	21.7	19.1	7.8
	54	15.1	21.9	22.3	21.9	17.7	17.7	18.3	13.8	9.4	6.3	12.1	8.8	15.4	20.3	16.9	9.2
	55	13.3	19.6	18.6	18.1	14.6	13.8	16.4	10.8	8.1	5.0	12.3	8.3	13.2	17.4	13.9	8.4