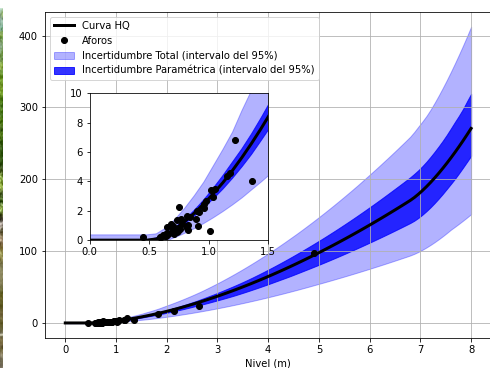


Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo

Informe 07 – Resumen ejecutivo



Programa Hidráulica Computacional – Subgerencia Laboratorio de Hidráulica
Instituto Nacional del Agua

Proyecto INA 397
Informe LHA 07-397-22
Ezeiza, marzo de 2022

Equipo de trabajo (por orden alfabético)

Programa Hidráulica Computacional – Subgerencia Laboratorio de Hidráulica – Instituto Nacional del Agua

Dr. Ing. Pablo E. García | Ing. Santiago Guizzardi | Ing. Leandro Kazimierski | Ing. Marina Lagos | Mayra Morale | Lic. Nicolás Ortiz | Msc. Ing. Mariano Re | Ing. Martín Sabarots Gerbec

Subgerencia Centro de la Región Semiárida – Instituto Nacional del Agua

Dr. Ing. Carlos G. Catalini | Ing. Giuliana Elcano | Msc. Ing. Ana I. Heredia Ligorria | Geol. Nadia Mortarino

Informe realizado por:

Pablo E. García

Leandro Kazimierski

Tabla de contenido

1. Actividades realizadas.....	4
1.1. Campañas de aforos	4
1.1.1. Resultados	5
1.2. Curvas HQ.....	12
1.2.1. Análisis de los datos.....	13
1.2.2. Ecuaciones.....	16
2. Conclusiones y recomendaciones.....	25
2.1. Red de estaciones de monitoreo	25
2.2. Curvas HQ.....	27
2.3. Campañas de aforos	29

1. Actividades realizadas

Las principales actividades comprometidas en este proyecto estuvieron relacionadas a la realización de tres campañas de aforos de caudales y a la generación de relaciones altura – caudal (curvas HQ) en las estaciones de monitoreo de la red de agua superficial de ACUMAR. A continuación, se detallan esas actividades y se presentan los resultados obtenidos más sustantivos.

1.1. Campañas de aforos

En el presente Convenio se llevaron a cabo tres campañas de monitoreo durante las cuales se realizaron una totalidad de 87 aforos en 28 estaciones de la red de agua superficial de ACUMAR (Figura 1.1). Se utilizaron diferentes metodologías de medición, tal como se detalla a continuación:

- 25 aforos se llevaron a cabo utilizando el Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP por sus siglas en inglés)
- 28 aforos se realizaron con un Velocímetro Acústico Doppler (ADV por sus siglas en inglés)
- 34 aforos se hicieron utilizando la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas a Gran Escala (LSPIV por sus siglas en inglés).

Se destaca como un hito a nivel nacional y regional el uso de la metodología de LSPIV por primera vez en campañas llevadas a cabo por una Autoridad de Cuenca. Esta técnica resultó de suma utilidad para realizar aforos en cursos canalizados y en secciones donde se buscó evitar el contacto con aguas contaminadas por parte del personal involucrado en las mediciones.

Otra novedad incluida en este Convenio fue la evaluación de las incertidumbres asociadas a los caudales aforados, las cuales fueron informadas en los distintos informes de campaña. Esto es de suma utilidad para estimar los errores que se podrían esperar en futuros usos de las mediciones (por ejemplo, en estimaciones de cargas máxicas o calibración y validación de modelos numéricos).

1.1.1. Resultados

Los resultados de los aforos realizados en el marco del Convenio se presentan en la Tabla 1.1 (campaña piloto), en la Tabla 1.2 (primera campaña) y en la Tabla 1.3 (segunda campaña).

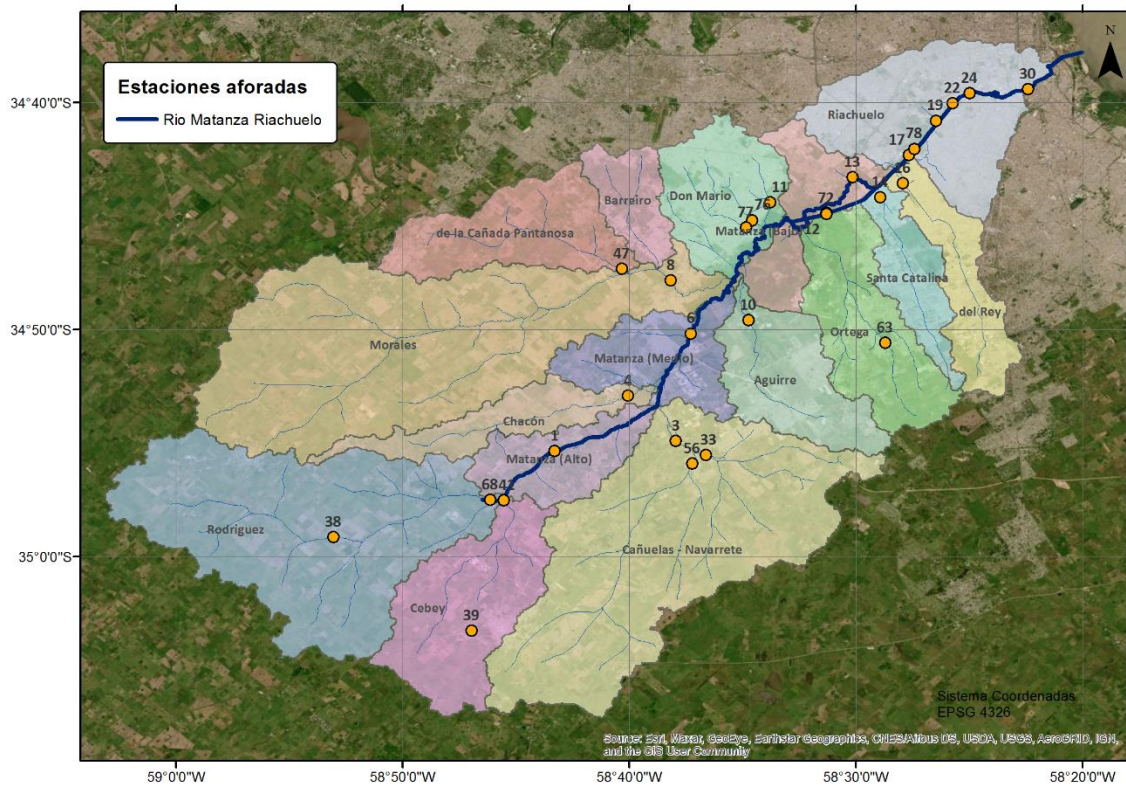


Figura 1.1. Estaciones incluidas en las campañas de aforos del presente convenio.

Tabla 1.1. Resultados de los aforos realizados en la campaña piloto

Estación		Fecha	Hora	H escala	Nivel IGN	Método de aforo	Q	Incertidumbre aforo	Área total	Ancho Total	Vel. media	Prof. media
N°	Código			[m]	[m IGN]		[m ³ /s]	[%]	[m ²]	[m]	[m/s]	[m]
01	MatyRut3- 1	11/12/2020	14:05	0,80 ± 0,01	10,68 ± 0,03	ADCP	0,45	5,2	3,25	8,80	0,14	0,37
						LSPIV	0,44	-				
06	AgMolina- 6	04/12/2020	10:42	1,40 ± 0,01	4,30 ± 0,03	ADCP	1,77	4,9	16,38	19,20	0,11	0,85
08	ArroMora- 8	11/12/2020	11:42	-	4,39 ± 0,03	LSPIV	0,35	-	2,73	11,79	0,13	0,23
11	ArroDMar- 11	09/12/2020	11:50	1,15 ± 0,01	2,96 ± 0,03	LSPIV	1,79	-	11,80	12,82	0,15	0,92
12	AutoRich- 12	04/12/2020	11:45	0,61 ± 0,01	1,06 ± 0,03	ADCP	4,42	6,1	36,34	41,86	0,12	0,87
17	PteLaNor- 17	18/12/2020	12:53	-	-	ADCP	10,17	5,9	47,82	56,77	0,21	0,84
63	ArroOrt2- 63	22/12/2020	13:30	0,08 ± 0,01	11,95 ± 0,03	LSPIV	0,083	-	1,27	6,03	0,07	0,21

Tabla 1.2. Resultados de los aforos realizados en la primera campaña.

Estación		Fecha	Hora	H escala	Nivel IGN	Método de aforo	Q	Incertidumbre aforo	Área total	Ancho Total	Vel. media	Prof. media
N°	Código			[m]	[m IGN]		[m ³ /s]	[%]	[m ²]	[m]	[m/s]	[m]
01	MatyRut3- 1	26/02/2021	10:45	0,63± 0,01	10,51 ± 0,03	ADCP	0,47	9,9	3,09	7,42	0,15	0,42
03	ArroCanu- 3	24/02/2021	12:45	-	7,49 ± 0,03	ADV	1,66	2,8	3,10	9,50	0,54	0,33
			14:10			LSPIV	2,48	-	3,10	9,50	0,80	0,33
04	ArroChac- 4	01/03/2021	11:15	-	11,50 ± 0,03	ADV	0,20	3,0	1,10	6,40	0,18	0,17
			12:40			LSPIV	0,23	-	1,10	6,40	0,21	0,17
06	AgMolina- 6	26/02/2021	12:10	1,35 ± 0,01	4,25 ± 0,03	ADCP	1,79	5,0	15,82	19,03	0,11	0,83
08	ArroMora- 8	25/02/2021	13:00	-	4,50 ± 0,03	ADCP	0,81	5,0	6,83	12,42	0,12	0,55
			12:20			ADV	0,78	3,1	6,75	12,2	0,12	0,55
10	ArroAgui- 10	02/03/2021	9:20	0,70 ± 0,01	4,45 ± 0,03	ADV	0,09	3,8	0,50	1,50	0,18	0,33
			10:20			LSPIV	0,07	-	0,50	1,50	0,14	0,33
11	ArroDMar- 11	02/03/2021	11:25	1,10 ± 0,01	2,91 ± 0,03	ADCP	0,78	25,8	12,25	11,18	0,06	1,10
12	AutoRich- 12	04/03/2021	9:40	0,43 ± 0,01	0,88 ± 0,03	ADCP	3,25	11,2	30,52	24,48	0,11	1,25
13	DepuOest- 13	04/03/2021	11:40	0,86 ± 0,01	0,89 ± 0,03	ADCP	2,25	8,9	8,13	18,12	0,28	0,45
14	ArroSCat – 14	03/03/2021	13:20	0,46 ± 0,01	0,98 ± 0,03	ADV	0,49	3,3	1,80	6,30	0,27	0,29
			14:20			LSPIV	0,60	-	1,80	6,30	0,33	0,29
16	ArrodRey- 16	04/03/2021	14:00	-	0,63 ± 0,03-	LSPIV	1,31	-	7,96	13,27	0,16	0,60

17	PteLaNor- 17	05/03/2021	09:40	2,30 ± 0,01	-	ADCP	-2,88	10,0	81,51	56,85	-0,04	1,43
19	ArroCild- 19	05/03/2021	12:00	1,59 ± 0,01	-	ADCP	-2,27	10,0	95,70	49,97	-0,02	1,92
22	DPel1900- 22	05/03/2021	13:45	-	-	LSPIV	0,42	-	6,22	3,65	0,07	1,70
24	PteUribu- 24	08/03/2021	11:20	-	-	ADCP	-11,32	10,0	177,4	56,85	-0,06	3,12
30	PtePueyr- 30	08/03/2021	12:30	-	-	ADCP	-45,62	10,0	250,0	79,68	-0,18	3,14
33	ArroCanu2- 33	24/02/2021	09:15	0,42 ± 0,01	9,62 ± 0,03	ADV	1,21	2,4	4,10	10,50	0,30	0,39
			10:10			LSPIV	0,80	-	4,10	10,50	0,20	0,39
38	ArroRod- 38	11/03/2021	10:45	0,39 ± 0,01	22,75 ± 0,03	ADV	0,034	3,5	2,30	7,00	0,02	0,33
			11:45			LSPIV	0,083	-	2,30	7,00	0,04	0,33
39	ArroCeb- 39	23/02/2021	09:30	-	25,20 ± 0,03	ADV	0,33	5,5	1,10	4,10	0,30	0,27
			10:10			LSPIV	0,26	-	1,10	4,10	0,24	0,27
41	ArroCeb4- 41	23/02/2021	12:45	-	14,12 ± 0,03	ADV	0,69	3,3	1,60	4,50	0,43	0,36
			13:45			LSPIV	0,64	-	1,60	4,50	0,40	0,36
47	ArroPant2- 47	25/02/2021	09:30	0,50 ± 0,01	7,16 ± 0,03	ADV	0,10	3,6	1,10	2,90	0,09	0,38
			10:35			LSPIV	0,15	-	1,10	2,90	0,14	0,38
56	ArroCanuEMC- 56	24/02/2021	10:40	0,33 ± 0,01	9,81 ± 0,03	ADV	0,58	3,8	1,60	5,00	0,36	0,32
			11:40			LSPIV	0,58	-	1,60	5,00	0,36	0,32
63	ArroOrt2- 63	03/03/2021	09:25	0,00 ± 0,01	11,87 ± 0,03	ADV	0,024	3,4	0,30	2,20	0,08	0,14
			10:30			LSPIV	0,023	-	0,30	2,20	0,08	0,14
68	ArroRod1- 68	11/03/2021	13:10	0,15 ± 0,01	14,75 ± 0,03	ADV	0,13	3,1	0,46	5,70	0,28	0,08
			14:10			LSPIV	0,09	-	0,46	5,70	0,20	0,08

72	DescRocha- 72	03/03/2021	12:05	0,35 ± 0,01	-	ADV	0,15	3,6	0,97	3,60	0,15	0,27
			11:40			LSPIV	0,16	-	0,97	3,60	0,16	0,27
76	ArroSusana- 76	02/03/2021	13:50	-	-	LSPIV	0,03	-	0,36	5,14	0,08	0,07
77	ArroDupuy- 77	02/03/2021	12:45	-	3,92 ± 0,03	ADV	0,25	3,8	0,83	3,00	0,30	0,28
			13:25			LSPIV	0,23	-	0,83	3,00	0,28	0,28
78	AlivCild - 78	05/03/2021	10:45	-	-	LSPIV	0,073	-	1,61	8,05	0,05	0,20

Tabla 1.3. Resultados de los aforos realizados en la segunda campaña.

Estación		Fecha	Hora	H escala	H superficie agua	Método de aforo	Q	Incertidumbre aforo	Área total	Ancho Total	Vel. media	Prof. media
N°	Código			[m]	[m IGN]		[m ³ /s]	[%]	[m ²]	[m]	[m/s]	[m]
01	MatyRut3- 1	12/11/2021	09:45	0,67 ± 0,01	10,55 ± 0,03	ADCP	0,58	7,9	3,37	7,58	0,17	0,44
03	ArroCanu- 3	10/11/2021	13:15	-	7,43 ± 0,03	ADV	0,24	3,5	2,15	7,00	0,11	0,31
			13:30			LSPIV	0,28	-	2,15	7,00	0,13	0,31
04	ArroChac- 4	15/11/2021	11:20	0,34 ± 0,01	11,65 ± 0,03	ADV	0,52	3,9	1,71	6,20	0,30	0,28
			11:45			LSPIV	0,47	-	1,71	6,20	0,27	0,28
06	AgMolina- 6	12/11/2021	12:30	1,36 ± 0,01	4,26 ± 0,03	ADCP	1,55	10,0	16,27	13,73	0,10	1,18
08	ArroMora- 8	11/11/2021	12:25	0,64 ± 0,01	4,75 ± 0,03	ADV	0,63	3,2	6,09	13,40	0,10	0,45
10	ArroAgui- 10	16/11/2021	10:00	0,65 ± 0,01	4,40 ± 0,03	ADV	0,13	3,6	0,88	2,30	0,15	0,38
			10:20			LSPIV	0,09	-	0,88	2,30	0,10	0,38
11	ArroDMar- 11	16/11/2021	11:50	1,00 ± 0,01	2,81 ± 0,03	ADCP	0,74	16,3	10,6	12,83	0,07	0,83
12	AutoRich- 12	18/11/2021	10:30	0,38 ± 0,01	0,83 ± 0,03	ADCP	3,48	4,5	24,95	30,33	0,14	0,82
13	DepuOest- 13	18/11/2021	12:00	0,78 ± 0,01	0,81 ± 0,03	ADCP	2,57	6,1	6,9	18,28	0,37	0,38
14	ArroSCat – 14	17/11/2021	14:40	-	-	ADV	0,40	3,4	2,5	7,40	0,16	0,34
16	ArrodRey- 16	18/11/2021	14:45	-	0,59 ± 0,03	LSPIV	0,59	-	7,2	13,27	0,08	0,54
17	PteLaNor- 17	19/11/2021	10:20	2,18 ± 0,01	--	ADCP	13,07	4,9	79,22	58,86	0,16	1,35
19	ArroCild- 19	19/11/2021	11:45	-	-	ADCP	5,93	5,9	60,39	47,18	0,10	1,28
22	DPel1900- 22	19/11/2021	13:20	-	-	ADCP	0,78	6,0	24,19	17,41	0,03	1,39

24	PteUribu- 24	24/11/2021	12:30	-	-	ADCP	15,55	17,3	197,73	53,22	0,08	3,72
30	PtePueyr- 30	24/11/2021	14:00	-	-	ADCP	28,06	6,1	181,99	76,98	0,15	2,36
33	ArroCanu2- 33	10/11/2021	10:00	0,26 ± 0,01	9,46 ± 0,03	ADV	0,10	3,6	2,21	9,90	0,05	0,22
38	ArroRod- 38	08/11/2021	11:40	0,47 ± 0,01	22,83 ± 0,03	ADV	0,064	2,9	5,59	7,30	0,01	0,77
			12:30			LSPIV	0,12	-	5,59	7,30	0,02	0,77
39	ArroCeb- 39	09/11/2021	11:40	-	25,24 ± 0,03	ADV	0,07	3,6	0,64	3,30	0,11	0,19
41	ArroCeb4- 41	09/11/2021	13:25	-	14,15 ± 0,03	ADV	0,14	3,6	0,85	2,90	0,16	0,29
			13:35			LSPIV	0,14	-	0,85	2,90	0,16	0,29
47	ArroPant2- 47	11/11/2021	10:30	0,45 ± 0,01	7,11 ± 0,03	ADV	0,06	3,5	1,34	3,85	0,04	0,35
			10:45			LSPIV	0,09	-	1,34	3,85	0,07	0,35
56	ArroCanuEMC- 56	10/11/2021	11:30	-	-	ADV	0,13	3,5	0,98	4,50	0,13	0,22
			11:45			LSPIV	0,10	-	0,98	4,50	0,10	0,22
68	ArroRod1- 68	08/11/2021	14:30	0,15 ± 0,01	14,75 ± 0,03	ADV	0,20	3,4	0,87	7,80	0,23	0,11
			15:00			LSPIV	0,21	-	0,87	7,80	0,24	0,11
72	DescRocha- 72	17/11/2021	11:50	0,88 ± 0,01	-	ADCP	0,30	5,3	3,80	6,57	0,08	0,58
76	ArroSusana- 76	16/11/2021	13:00	0,08 ± 0,01	2,67 ± 0,03	LSPIV	0,17	-	0,52	6,50	0,33	0,08
77	ArroDupuy- 77	16/11/2021	14:00	-	3,90 ± 0,03	ADV	0,22	3,7	0,97	3,05	0,23	0,32
			14:30			LSPIV	0,25	-	0,97	3,05	0,26	0,32
78	AlivCild - 78	19/11/2021	11:10	-	-	LSPIV	0,18	-	0,83	16,60	0,22	0,05

1.2. Curvas HQ

Como parte de los productos del Convenio se establecieron las relaciones altura – caudal (curvas HQ) en 54 estaciones de la red de monitoreo de calidad y caudal del agua superficial de ACUMAR (ver Tabla 1.4). A partir del análisis de los condicionantes hidrodinámicos de las estaciones de monitoreo y de los aforos realizados, se definieron las estaciones donde se determinaron las curvas HQ. En 23 estaciones se desistió establecer relaciones entre alturas y caudales pues los niveles en la sección de aforo están fuertemente influenciados por los niveles del curso receptor haciendo que no exista una relación biunívoca entre ambas variables.

La metodología clásica para obtener una curva HQ consiste en ajustar una función matemática a una nube de puntos (que representan los diferentes aforos realizados en la sección de análisis). Esta metodología presenta una serie de desventajas que se enumeran a continuación:

- Esta metodología utilizada no tiene en cuenta el comportamiento hidráulico de la sección de análisis, pudiéndose obtener curvas HQ que solamente responden a un análisis matemático pero que no representan la física del problema.
- Las curvas ajustadas por tramos no suelen presentar continuidad.
- Los diferentes tramos definidos no están asociados a características geométricas de la sección.
- No contempla incertidumbres en las mediciones.
- No se debería extrapolar a situaciones donde no se tienen registros de mediciones.
- El ajuste tradicional tampoco permite inferir intervalos de confianza en las curvas. Esta limitación se observa luego al inferir un caudal (a partir de la curva HQ y un nivel observado) y no poder estimar el error o el grado de incertidumbre asociado al valor obtenido.
- Se puede estar interpolando con datos erróneos y la metodología no los detecta.

Para superar estas limitaciones, se buscó una metodología que tenga las siguientes características:

- Sea de base física utilizando las propiedades geométricas e hidráulicas del curso de agua.
- Permita tener distintos tramos de curvas según el nivel de agua.
- Logre que la curva generada por tramos sea continua.
- Estime rangos de incertidumbre de la curva generada.
- Permita extrapolar para caudales más altos y bajos que los aforados.

Siguiendo estos principios, se estimaron las curvas HQ en las secciones hidrométricas correspondientes a las Estaciones de Monitoreo (EM) que posee ACUMAR en la cuenca

Matanza-Riachuelo utilizando la técnica de inferencia Bayesiana propuesta por Le Coz (2014)¹ mediante el software *BaRatinAGE* desarrollado por el INRAE (*Institut National de Recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement*) de Francia. La metodología seleccionada para la construcción de curvas HQ combina conocimientos hidráulicos y una aproximación estadística.

La inferencia Bayesiana propone un conocimiento previo de cómo podría ser la curva de ajuste sin utilizar los datos con los que realmente se van a ajustar. Esto quiere decir, generar una curva HQ sin los aforos (curva HQ a priori) y luego sí ajustar la curva obtenida previamente utilizando los aforos (curva HQ a posteriori). Una primera curva se genera en base a la geometría y la hidráulica de la sección. Se utilizan ecuaciones de la hidráulica (como la ecuación de Chézy-Manning para canales, o la descarga de vertederos y orificios) para proponer la curva HQ a priori.

A partir de la primera versión (curva HQ a priori), se utilizan distintas herramientas estadísticas para ajustar la nueva curva (curva HQ a posteriori) en base a los datos de aforos disponibles. La justificación de la metodología se basa en la idea de que no sean solamente los datos de aforos los que se utilicen para el ajuste sino también la física del problema. Sumado a todo esto, la inferencia bayesiana permite incluir incertezas de distinto grado y origen generando intervalos de incertidumbre de las curvas HQ generadas.

1.2.1. Análisis de los datos

Previo al uso de los aforos para generar las curvas HQ se realizó un análisis y filtrado de los mismos.

La mayor parte de los aforos se realizaron en circunstancias de aguas bajas con el objetivo de caracterizar la carga másica de contaminantes en condiciones medias. La dificultad de aforar en circunstancias de aguas bajas (sumado al error propio de los métodos de aforo) puede generar importantes incertidumbres en los valores obtenidos de caudales. A su vez, la poca (o nula) cantidad de aforos en aguas medias y altas dificulta la estimación de las curvas HQ.

De los datos de aforos (Figura 1.2) se observa que en ciertos casos no se presenta la altura observada en la regla. Esto se entiende muchas veces por problemas para poder observar la regla instalada o por la ausencia de la misma.

Un 20% de los aforos realizados en las 54 estaciones de monitoreo seleccionadas se descartó para el armado de las curvas HQ al no contar con lecturas de niveles (como se puede observar en la Figura 1.2). A su vez, la mayoría de los aforos se realizaron en conjunto con campañas de muestreo de calidad de agua superficial, las cuales suelen hacerse en situaciones de aguas bajas (ver detalle en la Tabla 1.4 donde se indican para cada estación la cantidad de datos en cada

¹ Le Coz, J., Renard, B., Bonnifait, L., Branger, F., & Le Boursicaud, R. (2014). Combining hydraulic knowledge and uncertainty gaugings in the estimation of hydrometric rating curves: A Bayesian approach. *Journal of Hydrology*, 509, 573–587.

tramo de la escala). Esto implica contar con pocos datos para determinar las curvas HQ en situaciones de aguas medias y altas.

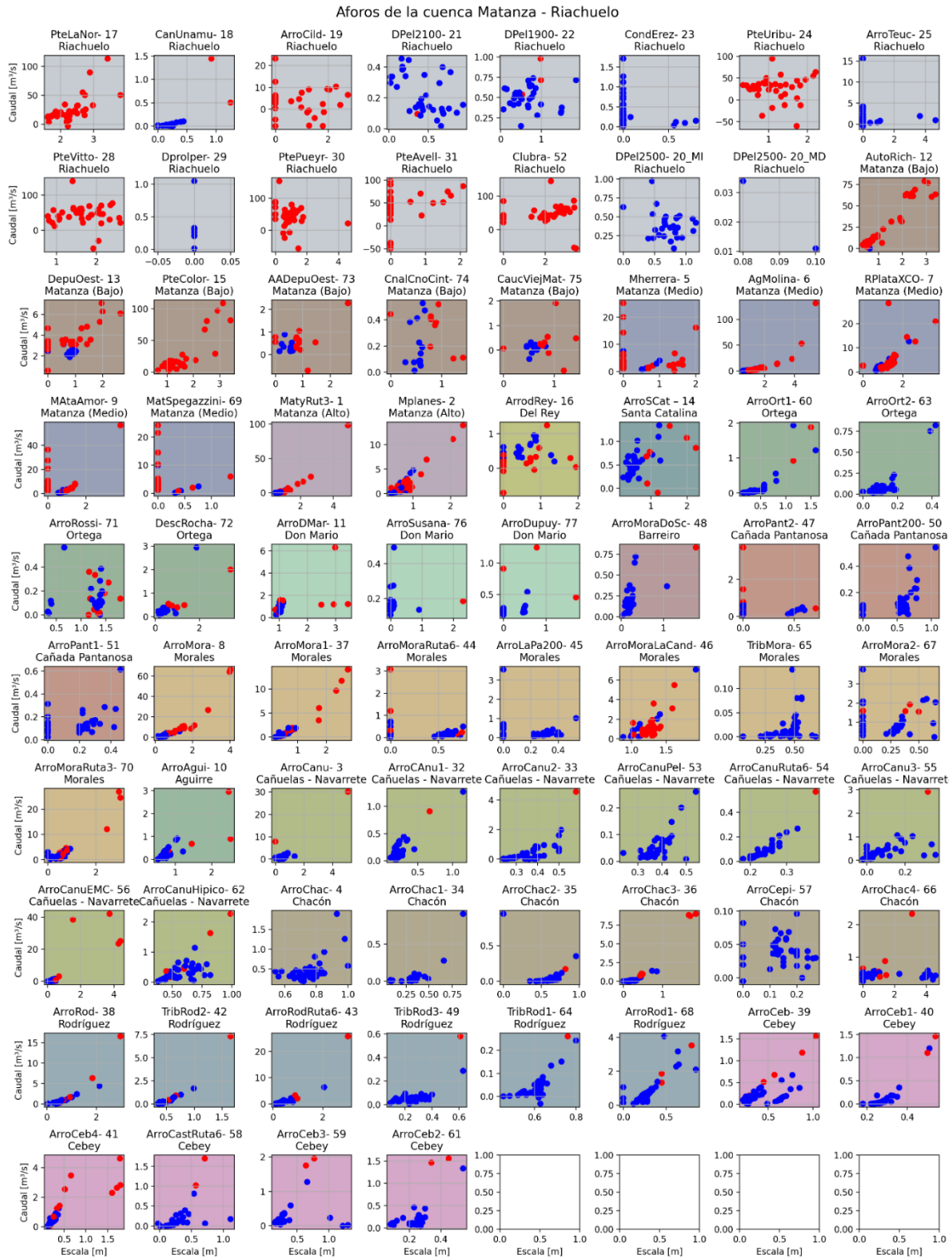


Figura 1.2. Aforos por estación (relación altura regla hidrométrica vs. caudal).

Tabla 1.4. Detalle de los aforos utilizados en el armado de las curvas HQ.

EM	Aforos realizados en la sección	Aforos utilizados en el armado de la curva HQ					
		Totales	Primer tramo de la regla [0-1m]	Segundo tramo de la regla [1-2m]	Tercer tramo de la regla [2-3m]	Cuarto tramo de la regla [3-4m]	Quinto tramo de la regla [4-5m]
01	53	53	41	9	2	0	1*
02	53	53	49	2	2	-	-
03	53	48	47	0	0	0	1*
04	53	53	53	0	0	-	-
05	49	23	11	12	0	-	-
06	50	50	9	36	2	1	2*
07	49	46	16	26	3*	1*	-
08	63	60	50	8	1	-	1*
09	48	24	14	9	0	1*	-
10	51	47	45	2	0	-	-
11	51	47	19	28	0	-	-
12	47	44	31	5	7	1	-
13	54	15	9	6	-	-	-
14	50	44	40	4	-	-	-
15	38	27	10	13	3	1	-
16	43	6	6	0	0	-	-
32	50	50	49	1	-	-	-
33	49	28	28	0	0	0	-
34	37	37	37	0	-	-	-
35	39	38	38	0	-	-	-
36	47	46	43	3	0	-	-
37	56	56	51	2	3	0	-
38	53	52	48	3	1	-	-
39	53	28	27	1	0	-	-
40	39	39	39	0	0	-	-
41	46	42	42	0	-	-	-
42	40	40	39	1	-	-	-
43	53	53	51	0	2	-	-
44	40	26	26	0	-	-	-
45	40	26	26	0	-	-	-
46	53	53	5	48	-	-	-
47	40	12	12	0	-	-	-
48	53	51	51	0	0	-	-
49	40	39	39	0	-	-	-

50	40	26	25	1	-	-	-
51	40	26	26	0	-	-	-
53	40	39	39	0	-	-	-
54	40	40	40	0	0	-	-
55	40	28	28	0	0	-	-
56	45	41	41	-	-	-	-
58	39	36	36	0	-	-	-
59	40	37	37	0	-	-	-
60	36	34	32	2	-	-	-
61	40	40	40	-	-	-	-
62	40	40	40	0	0	-	-
63	38	34	34	0	-	-	-
64	38	36	36	0	-	-	-
66	40	14	10	4	-	-	-
67	39	23	23	-	-	-	-
68	40	29	29	-	-	-	-
69	45	9	8	1	0	-	-
70	52	48	45	0	2	1*	-
76	26	8	8	-	-	-	-
77	29	9	9	-	-	-	-

* Lecturas que no se corresponden con la cantidad de tramos de las escalas

1.2.2. Ecuaciones

A continuación se presentan las curvas HQ generadas en las 54 estaciones de análisis (Ecuación 1.1 a Ecuación 1.54):

$$Q(h) = \begin{cases} 8,53855(h-0,51237)^{1,50081} & 0,51 \leq h \leq 1,19 \\ 6,83759(h-0,38185)^{1,69728} & 1,19 \leq h \leq 6,55 \\ 6,83759(h-0,38185)^{1,69728} + 29,5781(h-6,55117)^{1,67985} & 6,55 \leq h \leq 8,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.1. Curva HQ de la EM01

$$Q(h) = \begin{cases} 4,24352(h-0,238836)^{1,66941} & 0,24 \leq h \leq 2,74 \\ 4,24352(h-0,238836)^{1,66941} + 29,5819(h-2,74703)^{1,66511} & 2,74 \leq h \leq 3,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.2. Curva HQ de la EM02.

$$Q(h) = \begin{cases} 1,80066(h+0,04156)^{1,66631} & -0,04 \leq h \leq 3,94 \\ 1,80066(h+0,04156)^{1,66631} + 2,56582(h-3,94218)^{2,56582} & 3,94 \leq h \leq 6,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.3. Curva HQ de la EM03.

$$Q(h) = \begin{cases} 1,91933(h - 0,33199)^{1,69073} & 0,33 \leq h \leq 0,85 \\ 7,69628(h - 0,62652)^{1,66442} & 0,85 \leq h \leq 3,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.4. Curva HQ de la EM04.

$$Q(h) = \begin{cases} 6,05706(h - 0,264717)^{1,68901} & 0,26 \leq h \leq 5,97 \\ 6,05706(h - 0,264717)^{1,68901} + 9,06217(h - 5,9725)^{1,67555} & 5,97 \leq h \leq 7,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.5. Curva HQ de la EM05.

$$Q(h) = \begin{cases} 2,66131(h - 0,23462)^{1,67083} & 0,23 \leq h \leq 3,53 \\ 2,66131(h - 0,23462)^{1,67083} + 25,11880(h - 3,52532)^{1,65468} & 3,53 \leq h \leq 8,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.6. Curva HQ de la EM06.

$$Q(h) = \begin{cases} 3,72651(h - 0,328306)^{1,67355} & 0,32 \leq h \leq 3,95 \\ 3,72651(h - 0,328306)^{1,67355} + 9,72604(h - 3,9513)^{1,67122} & 1,18 \leq h \leq 7,02 \\ 9,72604(h - 3,9513)^{1,67122} + 17,9943(h - 4,40744)^{1,67492} & 7,02 \leq h \leq 8,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.7. Curva HQ de la EM07.

$$Q(h) = \begin{cases} 5,14750(h + 0,01302)^{1,66606} & -0,01 \leq h \leq 3,24 \\ 17,25100(h - 3,23885)^{1,67185} & 3,24 \leq h \leq 4,50 \end{cases}$$

Ecuación 1.8. Curva HQ de la EM08.

$$Q(h) = \begin{cases} 4,38946(h - 0,170239)^{1,69385} & 0,17 \leq h \leq 2,80 \\ 4,38946(h - 0,170239)^{1,69385} + 15,5582(h - 2,8044)^{1,66611} & 2,80 \leq h \leq 4,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.9. Curva HQ de la EM09.

$$Q(h) = \begin{cases} 0,40467(h-0,18969)^{1,64242} & 0,19 \leq h \leq 0,66 \\ 2,06095(h-0,47710)^{1,67926} & 0,66 \leq h \leq 1,86 \\ 2,06095(h-0,47710)^{1,67926} + 0,324271(h-1,86115)^{1,66382} & 1,86 \leq h \leq 3,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.10. Curva HQ de la EM10.

$$Q(h) = \{1,31584(h-0,29924)^{1,67845} \quad 0,30 \leq h \leq 5,50$$

Ecuación 1.11. Curva HQ de la EM11.

$$Q(h) = \begin{cases} 13,61190(h+0,09324)^{1,64608} & -0,09 \leq h \leq 4,00 \\ 13,61190(h+0,09324)^{1,64608} + 18,47390(h-3,99976)^{1,66431} & 4,00 \leq h \leq 5,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.12. Curva HQ de la EM12.

$$Q(h) = \begin{cases} 2,01398(h+0,06001)^{1,66242} & -0,06 \leq h \leq 1,75 \\ 2,01398(h+0,06001)^{1,66242} + 3,68114(h-1,74601)^{1,67699} & 1,75 \leq h \leq 2,67 \\ 2,01398(h+0,06001)^{1,66242} + 3,68114(h-1,74601)^{1,67699} + 5,38381(h-2,67000)^{1,68109} & 2,67 \leq h \leq 4,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.13. Curva HQ de la EM13.

$$Q(h) = \begin{cases} 1,06658(h-0,08507)^{0,90180} & 0,09 \leq h \leq 3,00 \\ 1,06658(h-0,08507)^{0,90180} + 2,22658(h-2,99621)^{1,66132} & 3,00 \leq h \leq 4,20 \end{cases}$$

Ecuación 1.14. Curva HQ de la EM14.

$$Q(h) = \begin{cases} 7,36161(h+0,302583)^{1,67052} & -0,30 \leq h \leq 1,18 \\ 7,36161(h+0,302583)^{1,67052} + 18,1539(h-0,1,17732)^{1,66155} & 1,18 \leq h \leq 6,92 \\ 18,1539(h-0,1,17732)^{1,66155} + 20,5334(h-2,97909)^{1,66031} & 6,92 \leq h \leq 7,50 \end{cases}$$

Ecuación 1.15. Curva HQ de la EM15.

$$Q(h) = \{0,67518(h-0,08441)^{1,66742} \quad 0,08 \leq h \leq 4,00$$

Ecuación 1.16. Curva HQ de la EM16.

$$Q(h) = \begin{cases} 2,41073(h - 0,01253)^{1,69048} & 0,11 \leq h \leq 1,27 \\ 2,41073(h - 0,01253)^{1,69048} + 17,49150(h - 1,27498)^{1,66851} & 1,27 \leq h \leq 2,20 \end{cases}$$

Ecuación 1.17. Curva HQ de la EM32.

$$Q(h) = \begin{cases} 10,68480(h - 0,23624)^{1,50950} & 0,24 \leq h \leq 0,48 \\ 10,68480(h - 0,23624)^{1,50950} + 57,27600(h - 0,47503)^{1,51169} & 0,48 \leq h \leq 3,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.18. Curva HQ de la EM33.

$$Q(h) = \begin{cases} 0,00066(h + 0,09959)^{1,52054} & -0,10 \leq h \leq 0,23 \\ 0,00066(h + 0,09959)^{1,52054} + 1,89052(h - 0,23311)^{1,69779} & 0,23 \leq h \leq 3,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.19. Curva HQ de la EM34.

$$Q(h) = \begin{cases} 0,00649(h + 0,00309)^{1,49640} & 0,00 \leq h \leq 0,52 \\ 0,00649(h + 0,00309)^{1,49640} + 1,06790(h - 0,49289)^{1,69775} & 0,52 \leq h \leq 3,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.20. Curva HQ de la EM35.

$$Q(h) = \begin{cases} 3,9269(h - 0,10646)^{1,50974} & 0,11 \leq h \leq 0,36 \\ 0,882489(h + 0,44676)^{0,882489} & 0,36 \leq h \leq 1,68 \\ 11,4179(h - 0,94948)^{1,67359} & 1,68 \leq h \leq 2,80 \end{cases}$$

Ecuación 1.21. Curva HQ de la EM36.

$$Q(h) = \begin{cases} 2,15719(h - 0,04748)^{1,67308} & 0,09 \leq h \leq 2,15 \\ 2,15719(h - 0,04748)^{1,67308} + 28,71450(h - 2,15575)^{1,66825} & 2,15 \leq h \leq 3,20 \end{cases}$$

Ecuación 1.22. Curva HQ de la EM37.

$$Q(h) = \begin{cases} 0,81637(h + 0,09927)^{1,42248} & -0,10 \leq h \leq 0,68 \\ 3,41886(h - 0,33921)^{1,66665} & 0,68 \leq h \leq 3,03 \\ 3,41886(h - 0,33921)^{1,66665} + 5,32995(h - 3,03297)^{1,67053} & 3,03 \leq h \leq 3,40 \end{cases}$$

Ecuación 1.23. Curva HQ de la EM38.

$$Q(h) = \begin{cases} 1,61140(h - 0,03908)^{1,67401} & 0,04 \leq h \leq 1,01 \\ 1,61140(h - 0,03908)^{1,67401} + 5,67415(h - 1,01466)^{1,68247} & 1,01 \leq h \leq 3,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.24. Curva HQ de la EM39.

$$Q(h) = \begin{cases} 3,62592(h - 0,21179)^{1,50433} & 0,21 \leq h \leq 0,32 \\ 11,32020(h - 0,25004)^{1,67269} & 0,32 \leq h \leq 2,30 \end{cases}$$

Ecuación 1.25. Curva HQ de la EM40.

$$Q(h) = \begin{cases} 2,61879(h + 0,06593)^{1,69522} & -0,07 \leq h \leq 0,20 \\ 7,61791(h - 0,06191)^{1,66266} & 0,20 \leq h \leq 2,44 \\ 7,61791(h - 0,06191)^{1,66266} + 18,62170(h - 2,43586)^{1,67786} & 2,44 \leq h \leq 3,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.26. Curva HQ de la EM41.

$$Q(h) = \begin{cases} 3,64356(h - 0,293758)^{1,65939} & 0,29 \leq h \leq 1,28 \\ 3,64356(h - 0,293758)^{1,65939} + 9,38301(h - 1,28093)^{1,66844} & 1,28 \leq h \leq 2,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.27. Curva HQ de la EM42.

$$Q(h) = \begin{cases} 2,926(h - 0,0014098)^{1,66879} & 0,00 \leq h \leq 2,05 \\ 2,926(h - 0,0014098)^{1,66879} + 8,54141(h - 2,04643)^{1,66613} & 2,05 \leq h \leq 3,50 \end{cases}$$

Ecuación 1.28. Curva HQ de la EM43.

$$Q(h) = \begin{cases} 0,16264(h + 0,41112)^{1,67813} & 0,11 \leq h \leq 0,70 \\ 0,16264(h + 0,41112)^{1,67813} + 20,69340(h - 0,70239)^{1,67288} & 0,70 \leq h \leq 1,65 \end{cases}$$

Ecuación 1.29. Curva HQ de la EM44.

$$Q(h) = \begin{cases} 2,49970(h - 0,06264)^{1,66861} & 0,06 \leq h \leq 0,31 \\ 2,49970(h - 0,06264)^{1,66861} + 11,73440(h - 0,30531)^{1,67107} & 0,31 \leq h \leq 3,50 \end{cases}$$

Ecuación 1.30. Curva HQ de la EM45.

$$Q(h) = \begin{cases} 0,02757(h + 0,01189)^{1,50269} & -0,01 \leq h \leq 0,80 \\ 4,13982(h - 0,76048)^{1,67782} & 0,80 \leq h \leq 2,80 \end{cases}$$

Ecuación 1.31. Curva HQ de la EM46.

$$Q(h) = \begin{cases} 1,62477(h - 0,18567)^{1,67349} & 0,19 \leq h \leq 0,79 \\ 1,62477(h - 0,18567)^{1,67349} + 11,85840(h - 0,78655)^{1,67421} & 0,79 \leq h \leq 2,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.32. Curva HQ de la EM47.

$$Q(h) = \begin{cases} 5,90110(h - 0,09249)^{1,68077} & 0,13 \leq h \leq 1,09 \\ 5,90110(h - 0,09249)^{1,68077} + 16,09890(h - 1,09091)^{1,65663} & 1,09 \leq h \leq 3,20 \end{cases}$$

Ecuación 1.33. Curva HQ de la EM48.

$$Q(h) = \begin{cases} 0,667145(h + 0,01318)^{1,67468} & 0,01 \leq h \leq 2,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.34. Curva HQ de la EM49.

$$Q(h) = \begin{cases} 0,36908(h - 0,15229)^{1,51800} & 0,15 \leq h \leq 0,27 \\ 0,36908(h - 0,15229)^{1,51800} + 0,02565(h - 0,27281)^{1,68339} & 0,27 \leq h \leq 1,36 \\ 0,02565(h - 0,27281)^{1,68339} + 13,37320(h - 1,22056)^{1,66381} & 1,36 \leq h \leq 1,90 \end{cases}$$

Ecuación 1.35. Curva HQ de la EM50.

$$Q(h) = \begin{cases} 2,39692(h - 0,08620)^{1,49188} & 0,09 \leq h \leq 0,21 \\ 3,11991(h - 0,07837)^{1,66835} & 0,21 \leq h \leq 1,80 \end{cases}$$

Ecuación 1.36. Curva HQ de la EM51.

$$Q(h) = \begin{cases} 0,05575(h + 0,00586)^{1,49198} & 0,00 \leq h \leq 0,25 \\ 0,05575(h + 0,00586)^{1,49198} + 1,14679(h - 0,24978)^{1,68577} & 0,25 \leq h \leq 2,94 \\ 1,14679(h - 0,24978)^{1,68577} + 2,93653(h - 2,59292)^{1,67800} & 2,94 \leq h \leq 3,50 \end{cases}$$

Ecuación 1.37. Curva HQ de la EM53.

$$Q(h) = \begin{cases} 5,30190(h - 0,17187)^{1,51719} & 0,17 \leq h \leq 0,48 \\ 5,30190(h - 0,17187)^{1,51719} + 10,36850(h - 0,48346)^{1,66799} & 0,48 \leq h \leq 1,58 \\ 10,36850(h - 0,48346)^{1,66799} + 12,67790(h - 0,76930)^{1,66850} & 1,58 \leq h \leq 3,04 \\ 12,67790(h - 0,76930)^{1,66850} + 18,77680(h - 1,24942)^{1,66674} & 3,04 \leq h \leq 3,25 \end{cases}$$

Ecuación 1.38. Curva HQ de la EM54.

$$Q(h) = \begin{cases} 13,50120(h + 0,03030)^{1,52091} & -0,03 \leq h \leq 0,32 \\ 15,06380(h + 0,04080)^{1,67376} & 0,32 \leq h \leq 2,25 \end{cases}$$

Ecuación 1.39. Curva HQ de la EM55.

$$Q(h) = \begin{cases} 4,71028(h - 0,16127)^{1,50515} & 0,16 \leq h \leq 0,31 \\ 4,61746(h - 0,12682)^{1,67808} & 0,31 \leq h \leq 1,00 \\ 4,61746(h - 0,12682)^{1,67808} + 6,87152(h - 1,00684)^{1,67219} & 1,00 \leq h \leq 3,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.40. Curva HQ de la EM56.

$$Q(h) = \begin{cases} 2,19747(h - 0,11627)^{1,50133} & 0,12 \leq h \leq 0,32 \\ 8,60219(h - 0,21496)^{1,65437} & 0,32 \leq h \leq 2,90 \end{cases}$$

Ecuación 1.41. Curva HQ de la EM58.

$$Q(h) = \begin{cases} 5,29358(h - 0,10534)^{1,54035} & 0,11 \leq h \leq 0,41 \\ 5,70978(h - 0,09223)^{1,66243} & 0,41 \leq h \leq 1,40 \\ 5,70978(h - 0,09223)^{1,66243} + 11,36840(h - 1,40380)^{1,66484} & 1,40 \leq h \leq 2,80 \end{cases}$$

Ecuación 1.42. Curva HQ de la EM59.

$$Q(h) = \begin{cases} 0,98397(h - 0,17499)^{1,68936} & 0,17 \leq h \leq 2,98 \\ 6,81397(h - 2,97529)^{1,67357} & 2,98 \leq h \leq 3,50 \end{cases}$$

Ecuación 1.43. Curva HQ de la EM60.

$$Q(h) = \begin{cases} 3,05334(h + 0,00982)^{1,68968} & 0,10 \leq h \leq 1,13 \\ 3,05334(h + 0,00982)^{1,68968} + 15,49170(h - 1,13129)^{1,67879} & 1,13 \leq h \leq 3,45 \end{cases}$$

Ecuación 1.44. Curva HQ de la EM61.

$$Q(h) = \begin{cases} 0,03342(h + 0,04051)^{1,50396} & -0,04 \leq h \leq 0,18 \\ 0,03342(h + 0,04051)^{1,50396} + 1,66233(h - 0,17862)^{1,68143} & 0,18 \leq h \leq 0,77 \\ 1,66233(h - 0,17862)^{1,68143} + 14,97090(h - 0,74519)^{1,67264} & 0,77 \leq h \leq 4,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.45. Curva HQ de la EM62.

$$Q(h) = \begin{cases} 3,23641(h - 0,03652)^{1,52245} & 0,04 \leq h \leq 0,32 \\ 3,23641(h - 0,03652)^{1,52245} + 5,25727(h - 0,29282)^{1,66183} & 0,32 \leq h \leq 2,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.46. Curva HQ de la EM63.

$$Q(h) = \{1,3479(h - 0,485677)^{1,67945} \quad 0,40 \leq h \leq 2,00$$

Ecuación 1.47. Curva HQ de la EM64.

$$Q(h) = \begin{cases} 1,32798(h - 0,01710)^{1,48031} & 0,02 \leq h \leq 0,14 \\ 1,29569(h + 0,01574)^{1,65270} & 0,14 \leq h \leq 2,50 \\ 14,96360(h - 1,92672)^{1,67697} & 2,50 \leq h \leq 3,75 \end{cases}$$

Ecuación 1.48. Curva HQ de la EM66.

$$Q(h) = \begin{cases} 3,04730(h - 0,03264)^{1,51222} & 0,03 \leq h \leq 0,13 \\ 7,68095(h - 0,05805)^{1,67680} & 0,13 \leq h \leq 1,82 \\ 7,68095(h - 0,05805)^{1,67680} + 68,11120(h - 1,82321)^{1,67198} & 1,82 \leq h \leq 3,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.49. Curva HQ de la EM67.

$$Q(h) = \{5,29016(h - 0,00559)^{1,67399} \quad 0,00 \leq h \leq 3,00$$

Ecuación 1.50. Curva HQ de la EM68.

$$Q(h) = \begin{cases} 4,15243(h - 0,05433)^{1,66851} & 0,05 \leq h \leq 2,02 \\ 4,15243(h - 0,05433)^{1,66851} + 11,0255(h - 2,02475)^{1,68117} & 2,05 \leq h \leq 4,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.51. Curva HQ de la EM69.

$$Q(h) = \begin{cases} 19,24770(h - 0,05481)^{1,51129} & 0,05 \leq h \leq 0,15 \\ 2,88020(h + 0,21191)^{1,67780} & 0,15 \leq h \leq 2,35 \\ 2,88020(h + 0,21191)^{1,67780} + 31,52060(h - 2,35331)^{1,67810} & 2,35 \leq h \leq 5,00 \end{cases}$$

Ecuación 1.52. Curva HQ de la EM70.

$$Q(h) = \{12,55240(h - 0,00586)^{1,67403} \quad 0,00 \leq h \leq 3,00$$

Ecuación 1.53. Curva HQ de la EM76.

$$Q(h) = \{3,81510(h - 0,28074)^{1,67888} \quad 0,28 \leq h \leq 2,00$$

Ecuación 1.54. Curva HQ de la EM77.

2. Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se presentan las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del presente Convenio en lo referido a la red de estaciones de monitoreo, los productos obtenidos (curvas HQ y aforos de caudales) y las técnicas de mediciones utilizadas.

2.1. Red de estaciones de monitoreo

ACUMAR posee en la actualidad una vasta red de estaciones de monitoreo cubriendo la totalidad de la Cuenca Matanza-Riachuelo. A partir de la experiencia de este Convenio (y de proyectos anteriores de este grupo de trabajo relacionados con la modelación numérica de la calidad de agua de los cursos de la cuenca) se recomienda establecer el, o los, usos específicos de cada estación. Entre los diferentes objetivos que pueden tener las estaciones, se destacan:

- **Hidrológicos:** estaciones que sean cierre de subcuencas o que sirvan para caracterizar la dinámica hidrológica de la cuenca.
- **Monitoreo de calidad:** estaciones asociadas a descargas de determinadas industrias o grupo de ellas o que sirvan para caracterizar el estado de la cuenca (monitoreo continuo de calidad).
- **Sistemas de Alerta Temprana:** estaciones cuya información puede servir para activar alertas respecto a diferentes situaciones como inundaciones, derrames de contaminantes, etc.

Tener definidos los objetivos de las estaciones permitiría pensar:

- Frecuencia de monitoreo del estado de las estaciones y actualización de sus respectivas monografías (incluidos relevamientos topobatimétricos de las secciones, fotos áreas para caracterizar el entorno de la estación, etc.).
- Tipo, frecuencia y prioridad en el mantenimiento de los accesos y márgenes de las estaciones (poda de vegetación) y en los puentes y alcantarillas (remoción de residuos sólidos flotantes que modifican el escurrimiento del flujo).
- Prioridades en el mantenimiento del instrumental asociado (revisar el estado de las escalas, verificar cotas de referencia, controlar el instrumental de monitoreo continuo).
- Instalación en ciertas estaciones de instrumental adicional (como por ejemplo sensores de niveles automáticos con transmisión en tiempo real o con almacenamiento).

En relación al tipo de instrumental instalado se realiza un comentario adicional: durante la semana del 19 al 23 de Julio del 2021 ACUMAR realizó una campaña de mantenimiento y reemplazo de tramos de escalas en siete estaciones de la red de monitoreo. Durante la campaña de aforos en noviembre del mismo año se constató que el nuevo tipo de reglas utilizadas no parece ser adecuado para las condiciones presentes en los cursos de agua. Al no ser reglas metálicas (o de otro material de que brinde cierta rigidez), algunos de los tramos instalados presentaban deformaciones (Figura 2.1.a), que si bien no implican una diferencia importante en la lectura de niveles, si podrían facilitar en un futuro a la retención y acumulación de residuos flotantes, peligrando la integridad de la escala. En otro caso (EM22) la nueva escala se veía totalmente percutida, imposibilitando cualquier lectura en la misma (Figura 2.1.b). Es por esto que se recomienda instalar en futuros trabajos escalas de otro material.



a) Escala deformada en la EM16



b) Escala ilegible en la EM22

Figura 2.1. Estado de las escalas instaladas en julio de 2021

Durante el presente Convenio se relevaron en varias estaciones las cotas de los puntos fijos y de los ceros de las escalas de las mismas. Sería de utilidad volcar toda esta información en una

nueva versión de las monografías de las estaciones, como así también el material fotográfico obtenido en las últimas campañas.

2.2. Curvas HQ

Durante el presente Convenio, tal como se mencionó en el Capítulo 1, se establecieron las relaciones entre altura y caudales en 54 estaciones de la red de monitoreo. En función de los objetivos de cada estación estas pueden servir para estimar caudales sin necesidad de realizar un aforo durante una campaña de monitoreo de calidad o establecer series hidrográficas en caso de contar con sensores de niveles automáticos, entre otros usos. De las 54 estaciones donde se determinaron las curvas HQ hay 20 que donde faltan las escalas (de manera total o parcial) o las mismas se encuentran ilegibles. Estas estaciones son: EM01, EM03, EM11, EM14, EM15, EM16, EM32, EM35, EM37, EM38, EM39, EM40, EM41, EM48, EM50, EM56, EM59, EM61, EM66 y EM77. Sería recomendable establecer un plan para poner operativas a las mismas definiendo las prioridades en función de la finalidad establecida en cada estación (ver sección 2.1).

Relacionado con los objetivos de las estaciones, sería deseable definir una frecuencia de actualización y/o verificación de las relaciones altura – caudal (actualizando la topobatimetría de la sección, verificando la hidrodinámica de la misma y realizando campañas de aforos en situaciones de aguas medias y altas).

Se recomienda también establecer campañas de reconocimiento en las estaciones que no formaron parte de las campañas de este Convenio, con el fin de relevar en campo los diferentes condicionantes hidrodinámicos de los cursos de agua en dichas secciones de aforo. A modo de ejemplo, a partir del análisis de material fotográfico provisto por ACUMAR, se puede observar en la EM36 un escalón aguas abajo de la sección o alcantarillas a diferentes niveles en la EM50. Estos condicionantes, entre otros, deberían ser relevados con mayor precisión en futuras actualizaciones de las curvas HQ (en particular en las estaciones donde contar con las relaciones altura-caudal sea insumo fundamental para los objetivos establecidos de dicha estación de monitoreo).



a) Escalón en las EM36.



b) Alcantarillas a diferentes niveles en la EM50.

Figura 2.2. Ejemplos de condicionantes hidrodinámicos a relevar en futuras actualizaciones de las curvas HQ.

Respecto de los aforos utilizados en la construcción de las curvas HQ se destaca:

- En las 54 estaciones donde se obtuvieron relaciones entre alturas y caudales se realizaron en total 2420 aforos, de los cuales 1953 (es decir el 81%) sirven para el armado de las curvas HQ. La mayor parte de los aforos descartados no cuentan con lectura del nivel en la escala o presentan valores poco consistentes por diversos motivos (cambios de escalas y crecidas en los cuerpos de agua receptores que generan efectos de remanso). Esto refuerza la importancia de relevar los niveles (por ejemplo, con un equipo GPS diferencial) al momento de realizar el aforo, independientemente de la presencia o no de la escala. De esta manera una mayor cantidad de aforos servirán para caracterizar hidrológicamente la cuenca y se podrán utilizar en el ajuste de las curvas HQ.
- El 94% de los aforos utilizados en el armado de las curvas HQ pertenecen a situaciones de aguas bajas. Para poder caracterizar con mayor certeza las relaciones entre niveles y caudales, es primordial realizar campañas de aforos adicionales en situaciones de aguas medias y altas.

2.3. Campañas de aforos

Se pudieron realizar los aforos en todas las estaciones previstas con las diferentes técnicas propuestas en el Convenio. Se pudo trabajar en forma coordinada con el resto de los equipos de trabajo que participaron en la campaña (tanto con el equipo encargado del muestreo de calidad del INA como con el equipo de ACUMAR que acompañó en todas las estaciones de monitoreo).

Tal como se mencionó previamente, se destaca la implementación de la técnica de aforo por velocimetría de imágenes (LSPIV) por primera vez en una campaña de muestreo realizada por ACUMAR. En muchas secciones donde se pudo aforar utilizando LSPIV, la técnica resultó prometedora, mostrando algunas ventajas comparativas con otras técnicas entre las cuales se destacan: i) menores tiempos de aforo, ii) minimizar o evitar el contacto con aguas contaminadas por parte del personal involucrado en las mediciones y iii) no requerir instrumental de alta complejidad para el aforo. Obviamente esta técnica tiene sus limitaciones (como cualquier otra) y se encontraron varias secciones donde las condiciones para implementarla no fueron las ideales, afectando los resultados obtenidos (o directamente imposibilitando la medición). Las principales restricciones para el aforo mediante LSPIV que se encontraron en las campañas fueron la presencia de algas, islas de vegetación y residuos sólidos flotantes en los cursos de agua que dificultaron el sembrado de trazadores y/o retuvieron a los mismos. Adicionalmente se presentó otra restricción para la aplicación de la técnica LSPIV: las condiciones del viento presentes al momento de realizar el aforo generaban un movimiento de la superficie del curso de agua en dirección contraria al flujo (bajo estas condiciones, los trazadores superficiales necesarios para aplicar esta metodología, no hubiesen representado correctamente las condiciones hidrodinámicas de los correspondientes cuerpos de agua).

Si analizamos la performance de los aforos mediante velocimetría por imágenes (comparando los resultados con los obtenidos mediante ADV) vemos que en cursos limpios (es decir sin vegetación ni residuos sólidos flotantes) las diferencias entre ambas técnicas están en el orden

del 10%. Cuando se aforó en cursos que presentaban residuos flotantes las diferencias son menores al 15%. En el caso de cursos con presencia de algas o vegetación las diferencias aumentan y se encuentran en torno del 40%. Para tener todos los elementos necesarios a fin de analizar estas diferencias, es importante resaltar que las significativas diferencias porcentuales se dan también por los bajos caudales que se están aforando, independientemente de la técnica utilizada (pequeñas diferencias en los volúmenes registrados se transformen en diferencias porcentuales importantes). Entrando en el análisis particular de los aforos en las diferentes estaciones de monitoreo podemos ver lo siguiente:

- Los aforos en la EM16 y en la EM76 se hicieron en un tiempo acotado, aprovechando que se tenían marcados y georreferenciados los puntos fijos desde la campaña de recorrida inicial². En este tipo de secciones canalizadas el aforo mediante LSPIV muestra sus mayores ventajas (puesto que tampoco es necesario relevar la sección).
- En la EM16 el aforo con LSPIV evitó que el personal tuviese que entrar en contacto directo con aguas que presentaban importantes cantidades de residuos y descargas cloacales domesticas (ver Figura 2.3).
- En la EM78 la técnica LSPIV evitó tener que acceder a la sección de aforo, con las dificultades que eso acarrea, bajo diferentes condiciones hidrológicas del Riachuelo, dada su ubicación (ver Figura 2.4).
- La presencia de islas de vegetación en estaciones de monitoreo como la EM33 y EM39 dificultó el sembrado de trazadores, tal como se observa en la Figura 2.5.
- Las algas superficiales (Figura 2.6) encontradas en la EM68 complicaron el libre escurrimiento de los trazadores. En el caso de la EM08 directamente impidió el uso de la técnica.
- La presencia de viento imposibilitó el aforo en algunas estaciones durante la segunda campaña (EM33 y EM39). La dirección viento generaba un movimiento de la superficie en los cursos de agua contraria al sentido de escurrimiento del flujo (Figura 2.7). De haber lanzado los trazadores en estos casos, los mismos no iban a describir correctamente la hidrodinámica de los arroyos.
- Las obstrucciones en los puentes y alcantarillas aguas debajo de la EM10 y EM47 condicionaron la hidrodinámica del flujo en las secciones de aforo. En estos casos, las diferencias entre los aforos con LSPIV y ADV fueron superiores al 30%. Como se mencionó previamente, estas diferencias porcentuales también se explican en parte por los pequeños caudales aforados.
- Las estaciones de monitoreo donde los aforos con LSPIV mostraron diferencias mayores al 15% respecto de los caudales obtenidos mediante ADV presentaban caudales del

² INA, 20201. Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo. Informe 02 – Campaña de reconocimiento inicial. Proyecto INA 397. Informe LHA 02-397-21. Ezeiza, marzo de 2021

orden de 0,1 m³/s o menores. Si se analizan las diferencias absolutas, estas están en el orden de los 0,03 m³/s.

Se recomienda continuar utilizando la técnica de aforo por velocimetría de imágenes, para poder seguir evaluando su performance. Se podría focalizar su continuidad en secciones donde el curso se encuentre altamente contaminado o de difícil acceso, como así también en secciones canalizadas. En futuros trabajos se podría desarrollar una metodología para poder estimar las incertidumbres asociadas a los caudales obtenidos con esta metodología.



Figura 2.3. Residuos flotantes en la EM16.



Figura 2.4. Ubicación de la EM78 en la margen izquierda del Riachuelo.



Figura 2.5. Isla de vegetación en la EM33 durante la primera campaña de aforos.

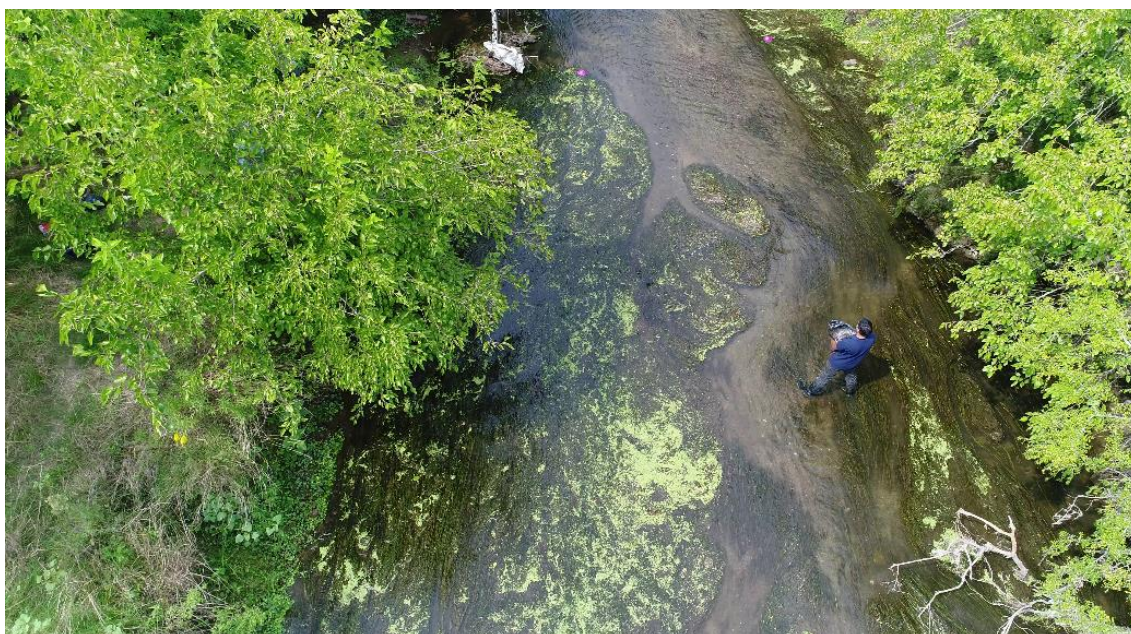


Figura 2.6. Algas en la sección de aforo de la EM68.



Figura 2.7. Movimiento superficial del agua en dirección contraria a la del flujo producto del viento.

Los aforos realizados con ADV y ADCP mostraron una muy buena performance, obteniéndose incertidumbres medias en la campaña del orden del 5% y 9% respectivamente, lo cual se considera muy satisfactorio. Algunos comentarios particulares.

- Los aforos realizados con ADCP en la EM24 presentaron incertidumbres mayores al 10%. Estas incertidumbres se encuentran asociadas a la dificultad de la operación de la embarcación en las márgenes del Riachuelo debido a las escasas profundidades que poseen. En futuras campañas se podría analizar la viabilidad de aforar desde el puente Ezequiel Demonty (Puente Alsina).
- Las incertidumbres en los aforos realizados con ADCP en la EM11 están en el orden del 20%. Las mismas se deben a la recirculación que se produce en la sección de aforo producto de su ubicación (aguas abajo de una curva y contracurva de la canalización). Se podría pensar en aforar aguas arriba de la Ruta Provincial N°21 para futuras campañas para evitar estos condicionantes hidrodinámicos.

Por último se recomienda, en aquellas estaciones donde es importante tener actualizadas las curvas HQ, acompañar el aforo con un relevamiento del nivel (independientemente de la presencia o no de las escalas hidrométricas).