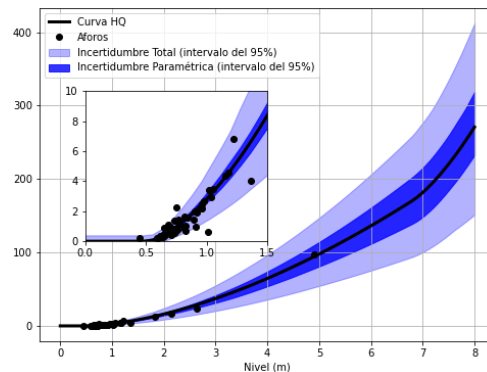


Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo

Informe 07 – Actualización de relaciones altura - caudal (curvas HQ)



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

Proyecto INA 407
Informe LHA 07-407-22
Ezeiza, septiembre de 2023

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 | Marina Sarti

Subgerencia Centro de la Región Semiárida – Instituto Nacional del Agua

Msc. Ing. Ana I. Heredia Ligorria

Informe realizado por:

Pablo E. García

Nicolás Ortiz

Tabla de contenido

1.	Introducción	4
1.1.	Informe de actualización de relaciones altura - caudal (curvas HQ).....	5
2.	Actualización de las relaciones altura - caudal (curvas HQ).....	6
2.1.	Resumen de aforos.....	6
2.2.	Metodología	9
2.3.	Relaciones altura – caudal actualizadas.....	10
2.3.1.	EM03	10
2.3.2.	EM04	12
2.3.3.	EM08	14
2.3.4.	EM10	16
2.3.5.	EM11	18
2.3.6.	EM12	20
2.3.7.	EM13	22
2.3.8.	EM14	24
2.3.9.	EM16	26
2.3.10.	EM37	28
2.3.11.	EM41	30
2.3.12.	EM68	32
2.3.13.	EM76	34
2.3.14.	EM77	36
2.4.	Conclusiones y recomendaciones	38

1. Introducción

El monitoreo de parámetros ambientales dentro de la Cuenca Matanza Riachuelo (CMR) es de suma importancia para la definición de acciones a realizar por la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR) en búsqueda de cumplir los objetivos propuestos en el Plan Integral de Saneamiento Ambiental (PISA).

Los estudios de la calidad de agua superficial y subterránea, sedimentos y aire, se llevan a cabo en la red de estaciones de monitoreo puntual y continuo extendidas a lo largo de toda la CMR. Toda la información obtenida a partir de dichos estudios constituye un conjunto de herramientas de gestión fundamental para evaluar las acciones planificadas en materia de reducción de las fuentes de contaminación tienen sobre la calidad ambiental de la Cuenca.

Para monitorear la calidad del agua superficial, ACUMAR estableció una red que incluye puntos sobre el río principal Matanza Riachuelo, sus afluentes, distintos arroyos a lo largo de la extensión aguas arriba y hasta sus nacientes, involucrando a las 14 subcuencas que conforman la Cuenca Hídrica del Matanza Riachuelo.

El presente proyecto tiene por objetivo principal darle continuidad al monitoreo integrado y simultáneo de calidad de agua superficial y caudales que viene realizando la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR) en forma sistemática desde el año 2007. Para eso se plantean 2 Campañas de aforos en diferentes estaciones de la red.

Los aforos previstos para cada una de las Campañas se efectuarán utilizando diferentes técnicas, entre las que se destacan aquellas que utilizan tecnología Doppler como es el caso de ADV (*Acoustic Doppler Velocity*) y ADCP (*Acoustic Doppler Current Profilers*) y una nueva tecnología de medición indirecta de velocidades superficiales del agua, a partir de la utilización de cámaras terrestres, aéreas e incluso radares, que permiten estimar caudales líquidos mediante el postprocesamiento de los videos registrados. Para esta última tecnología, denominada velocimetría por imágenes, se usará como algoritmo de análisis el denominado '*Large Scale Particle Image Velocimetry*' (LSPIV).

Adicionalmente a las campañas mencionadas previamente, durante el Proyecto se realizarán una serie de aforos especiales, que buscarán registrar las ondas de crecida en diferentes cursos de agua, con el objetivo principal de ampliar, mejorar y/u optimizar las curvas de relaciones altura-caudal (HQ) que posee la ACUMAR.

1.1. Informe de actualización de relaciones altura - caudal (curvas HQ)

En el presente informe se presenta la actualización de las relaciones altura – caudal (curvas HQ) obtenidas en diferentes secciones correspondientes a estaciones de la red de monitoreo de calidad y caudal del agua superficial de ACUMAR.

Las curvas HQ en las secciones hidrométricas correspondientes a las Estaciones de Monitoreo (EM) que posee ACUMAR en la cuenca Matanza-Riachuelo se realizaron utilizando la técnica de inferencia Bayesiana propuesta por Le Coz (2014) mediante el software *BaRatinAGE* desarrollado por el INRAE (Institut National de Recherche pour l’agriculture, l’alimentation et l’environnement) de Francia. Esta metodología fue presentada en el Informe LHA 05-397-21^{1,2}.

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). La 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 Leandro Kazimierski, Pablo E. García, Nicolás Ortiz, Mayra Morale y Mariano Re. “Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo. Informe 05 – Elaboración de relaciones altura - caudal (curvas HQ)”. Proyecto INA 397, Informe LHA 05-397-21. Comitente: ACUMAR, septiembre 2021.

² bdh.acumar.gov.ar/bdh3/publicacion_master.php?idobject=509956&retorno=publicacion_listado.php

2. Actualización de las relaciones altura - caudal (curvas HQ)

A partir de los nuevos datos de caudales obtenidos en el presente convenio (ya sea como parte de las campañas de monitoreo o de los aforos especiales realizados) se actualizaron los datos de las curvas HQ correspondientes a las secciones aforadas.

2.1. Resumen de aforos

Durante el presente Convenio se realizaron 56 aforos correspondientes a las campañas regulares de monitoreo (ver Tabla 2.1) y 6 mediciones de caudales correspondientes a dos campañas de aforos especiales (ver Tabla 2.2). Los aforos realizados durante las campañas de monitoreo son realizados en situaciones de aguas bajas, por lo cual su aporte a la mejora de las relaciones altura – caudal es poco significativo, pero igualmente se los incluyó en el análisis.

Las estaciones donde se actualizaron las relaciones altura – caudal son aquellas definidas previamente en el Informe LHA 05-397-21^{3,4}.

Tabla 2.1. Resumen de los aforos realizados en las campañas de monitoreos durante el Convenio N° 13 ACUMAR - INA

Estación	Fecha	Hora	H escala	Método de aforo	Q	Incertidumbre aforo
Código			[m]		[m ³ /s]	[%]
ArroCanu- 3	19/10/2022	12:50	-	ADCP	0,11	5,5
ArroChac- 4	24/10/2022	12:30	0,46 ± 0,01	ADCP	0,49	8,6
ArroMora- 8	21/10/2022	12:55	-	ADCP	0,40	10,2

³ Leandro Kazimierski, Pablo E. García, Nicolás Ortiz, Mayra Morale y Mariano Re. “Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo. Informe 05 – Elaboración de relaciones altura - caudal (curvas HQ)”. Proyecto INA 397, Informe LHA 05-397-21. Comitente: ACUMAR, septiembre 2021.

⁴ bdh.acumar.gov.ar/bdh3/publicacion_master.php?idobject=509956&retorno=publicacion_listado.php

ArroAgui- 10	25/10/2022	13:45	0,76 ± 0,01	ADV	0,071	4,3
ArroDMar- 11	26/10/2022	11:20	1,07 ± 0,01	ADCP	0,86	9,1
AutoRich- 12	28/10/2022	10:00	0,33 ± 0,01	ADCP	2,94	8,5
DepuOest- 13	28/10/2022	11:55	0,78 ± 0,01	ADCP	2,69	8,4
ArroSCat – 14	27/10/2022	11:35	-	ADCP	0,43	10,8
ArrodRey- 16	27/10/2022	11:55	-	ADCP	0,44	10,2
PteLaNor- 17	31/10/2022	10:00	2,90 ± 0,01	ADCP	-20,18	5,0
ArroCild- 19	31/10/2022	11:15	--	ADCP	-1,91	5,0
DPel1900- 22	31/10/2022	12:30	2,14 ± 0,01-	ADCP	0,75	9,7
PteUribu- 24	01/11/2022	10:50	-	ADCP	13,00	5,8
PtePueyr- 30	01/11/2022	13:00	-	ADCP	-24,82	5,9
ArroCeb4- 41	18/10/2022	13:20	0,12 ± 0,01	ADCP	0,11	7,1
ArroRod1- 68	17/10/2022	14:00	0,13 ± 0,01	ADV	0,067	12,0
DescRocha- 72	26/10/2022	14:15	0,38 ± 0,01	ADCP	0,13	6,7
AADepOest- 73	28/10/2022	12:30	-	ADCP	0,14	9,1
ArroSusana- 76	26/10/2022	12:10	0,10 ± 0,01	LSPIV	0,18	-
AlivCild - 78	31/10/2022	10:30	-	ADCP	-0,58	10,8
ArroCanu- 3	18/04/2023	12:00	-	ADCP	0,18	5,1
ArroChac- 4	17/04/2023	12:00	0,35 ± 0,01	ADCP	0,40	5,4
ArroMora- 8	12/04/2023	12:30	0,27 ± 0,01	ADCP	0,32	5,4
ArroAgui- 10	19/04/2023	11:30	0,65 ± 0,01	ADCP	0,17	7,1
ArroDMar- 11	20/04/2023	09:30	0,95 ± 0,01	ADCP	0,58	13,0
AutoRich- 12	24/04/2023	12:00	0,27 ± 0,01	ADCP	2,43	6,7
DepuOest- 13	24/04/2023	10:30	0,72 ± 0,01	LSPIV	2,54	-
ArroSCat – 14	25/04/2023	10:00	0,65 ± 0,01	ADCP	0,47	5,1
ArrodRey- 16	25/04/2023	11:30	-	ADCP	0,60	8,0
PteLaNor- 17	25/04/2023	13:00	2,10 ± 0,01	LSPIV	-1,50	-
ArroCild- 19	26/04/2023	10:15	1,15 ± 0,01	ADCP	-1,02	10,0
DPel1900- 22	26/04/2023	09:40	-	ADCP	0,38	8,8
PteUribu- 24	27/04/2023	10:30	1,31 ± 0,01	ADCP	-28,11	4,8
PtePueyr- 30	27/04/2023	09:30	1,03 ± 0,01	ADCP	-50,66	6,0
ArroCeb4- 41	13/04/2023	12:00	0,10 ± 0,01	ADCP	0,10	5,6
ArroRod1- 68	10/04/2023	13:30	0,10 ± 0,01	ADV	0,038	6,0

DescRocha- 72	21/04/2023	11:30	-	ADCP	0,11	6,2
AADepOest- 73	24/04/2023	10:40	0,69 ± 0,01	LSPIV	-0,09	-
ArroSusana- 76	20/04/2023	11:15	-	LSPIV	0,11	-
AlivCild - 78	25/04/2023	13:00	-	LSPIV	0,19	-
ArroCanu- 3	22/06/2023	12:00	0,38 ± 0,01	ADCP	0,14	7,4
ArroChac- 4	22/06/2023	10:00	0,28 ± 0,01	ADCP	0,35	6,5
ArroMora- 8	23/06/2023	12:10	0,30 ± 0,01	ADCP	0,50	8,8
ArroAgui- 10	28/06/2023	10:00	0,67 ± 0,01	ADCP	0,07	8,1
ArroDMar- 11	26/06/2023	11:00	1,05 ± 0,01	ADCP	0,68	7,2
AutoRich- 12	28/06/2023	11:00	0,33 ± 0,01	ADCP	3,63	5,6
DepuOest- 13	28/06/2023	12:30	-	LSPIV	2,10	-
ArroSCat – 14	30/06/2023	09:45	0,55 ± 0,01	ADCP	0,46	6,3
ArrodRey- 16	30/06/2023	11:00	-	ADCP	0,67	8,4
ArroMora1- 37	21/06/2023	10:15	-	ADCP	0,12	9,1
ArroMora1- 37	21/06/2023	10:30	-	LSPIV	0,14	-
ArroCeb4- 41	21/06/2023	14:30	0,11 ± 0,01	ADCP	0,085	7,1
ArroPant2-47	23/06/2023	10:15	-	ADCP	0,03	7,7
ArroRod1- 68	21/06/2023	13:00	0,10 ± 0,01	ADV	0,065	9,0
ArroSusana- 76	26/06/2023	10:15	-	LSPIV	0,22	-
ArroDupuy-77	26/06/2023	09:30	0,21 ± 0,01	LSPIV	0,038	-

Tabla 2.2. Resumen de los aforos especiales realizados durante el Convenio N° 13 ACUMAR - INA

Estación	Fecha	Hora	H escala	Método de aforo	Q	Incertidumbre aforo
Código			[m]		[m ³ /s]	[%]
AutoRich- 12	01/12/2022	14:45	1,12 ± 0,01	ADCP	16,78	6,0
ArroAgui- 10	27/01/2023	11:07	0,90 ± 0,01	ADCP	0,88	12,9*
ArroAgui- 10	27/01/2023	11:16	0,95 ± 0,01	ADCP	1,12	12,9*
ArroAgui- 10	27/01/2023	11:20	1,00 ± 0,01	ADCP	1,18	12,9*
ArroAgui- 10	27/01/2023	11:53	1,16 ± 0,01	ADCP	1,52	12,9*
ArroAgui- 10	27/01/2023	11:56	1,20 ± 0,01	ADCP	1,58	12,9*

2.2. Metodología

Para determinar y actualizar las curvas HQ y sus respectivos intervalos de confianza se utilizó el software *BaRatinAGE*⁵ (BAYesian RATINg curve Advanced Graphical Environment). El software se basa en el análisis de la hidrodinámica de la estación hidrométrica y en la estimación bayesiana de la relación altura-caudal.

La metodología propuesta para la construcción y actualización de curvas HQ combina conocimientos hidráulicos y una aproximación estadística. A continuación se resume el procedimiento:

- En primer lugar se definen las características hidráulicas y geométricas de la sección para los distintos niveles que alcanza la superficie del agua. A partir de estos datos se obtiene una curva HQ basada en propiedades físicas del sistema. Esta curva se denomina curva HQ a priori y tiene una incertidumbre asociada a los parámetros geométricos y físicos del sistema. Esta curva no contempla datos ni otro tipo de información proveniente de los aforos en la sección de análisis.
- Luego se seleccionan los aforos a utilizar para el ajuste y se les asigna una incertidumbre (que puede estar asociada a la observación de los niveles, a la estimación de los caudales o ambas mediciones). En el presente estudio no se incluyen incertidumbres en la determinación de los niveles. La incertidumbre en la estimación de los caudales se asocia al tipo de instrumento con el que se realizó el aforo.
- Por último se determina la curva HQ mediante inferencia Bayesiana⁶ y la metodología de Cadena de Markov - Monte Carlo (MCMC)⁷ incluyendo las incertidumbres definidas en el paso anterior.

Más detalles de la metodología aplicada puede encontrarse en el Informe LHA 05-397-21^{8,9}.

⁵ <https://riverhydraulics.inrae.fr/en/tools/measurement-software/baratin-method/>

⁶ Gelman, A., Carlin, J.B., Stern, H.S., Rubin, D.B., 2004. Bayesian Data Analysis. Texts in Statistical Science, second ed. Chapman & Hall.

⁷ Renard, B., Garreta, V., & Lang, M. (2006). An application of Bayesian analysis and Markov chain Monte Carlo methods to the estimation of a regional trend in annual maxima. *Water Resources Research*, 42, W12422. <https://doi.org/10.1029/2005WR004591>

⁸ Leandro Kazimierski, Pablo E. García, Nicolás Ortiz, Mayra Morale y Mariano Re. "Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo. Informe 05 – Elaboración de relaciones altura - caudal (curvas HQ)". Proyecto INA 397, Informe LHA 05-397-21. Comitente: ACUMAR, septiembre 2021.

⁹ bdh.acumar.gov.ar/bdh3/publicacion_master.php?idobject=509956&retorno=publicacion_listado.php

2.3. Relaciones altura – caudal actualizadas

2.3.1. EM03

En esta estación se realizaron 59 aforos, los cuales se pueden ver en la Figura 2.1. A partir del análisis de los mismos se descartaron seis aforos por no tener asociados el nivel registrado en la regla hidrométrica y un aforo por presentar un valor poco consistente.

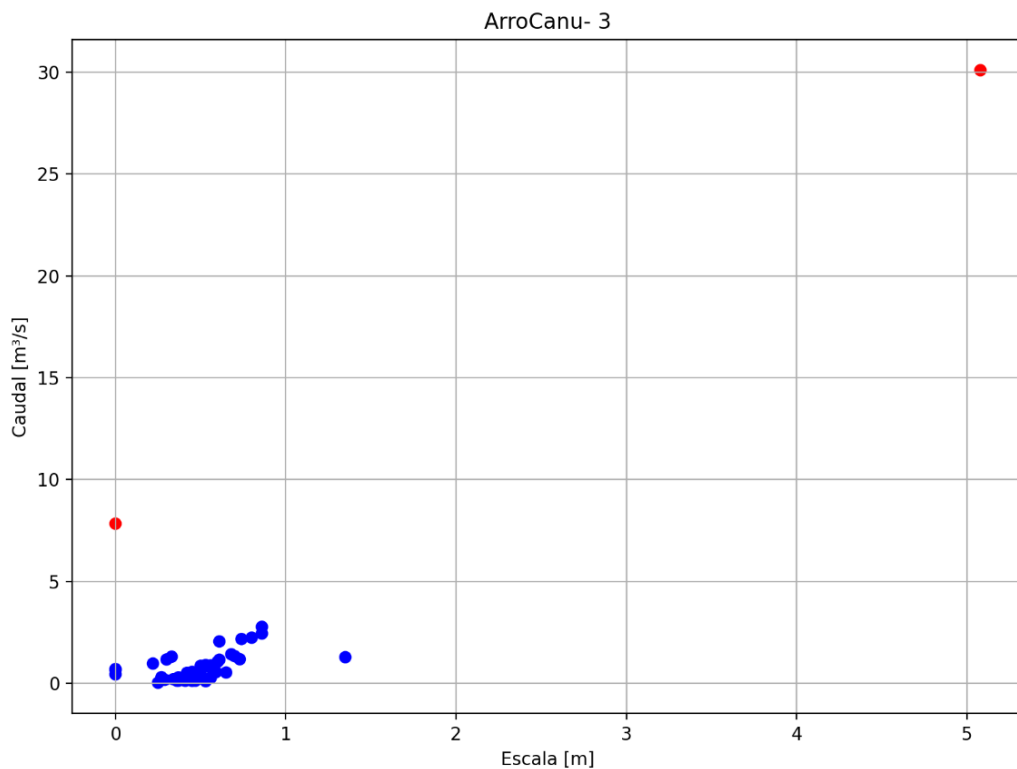


Figura 2.1. Aforos históricos realizados en EM03 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.1) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.2.

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

Ecuación 2.1. Curva HQ de la EM03.

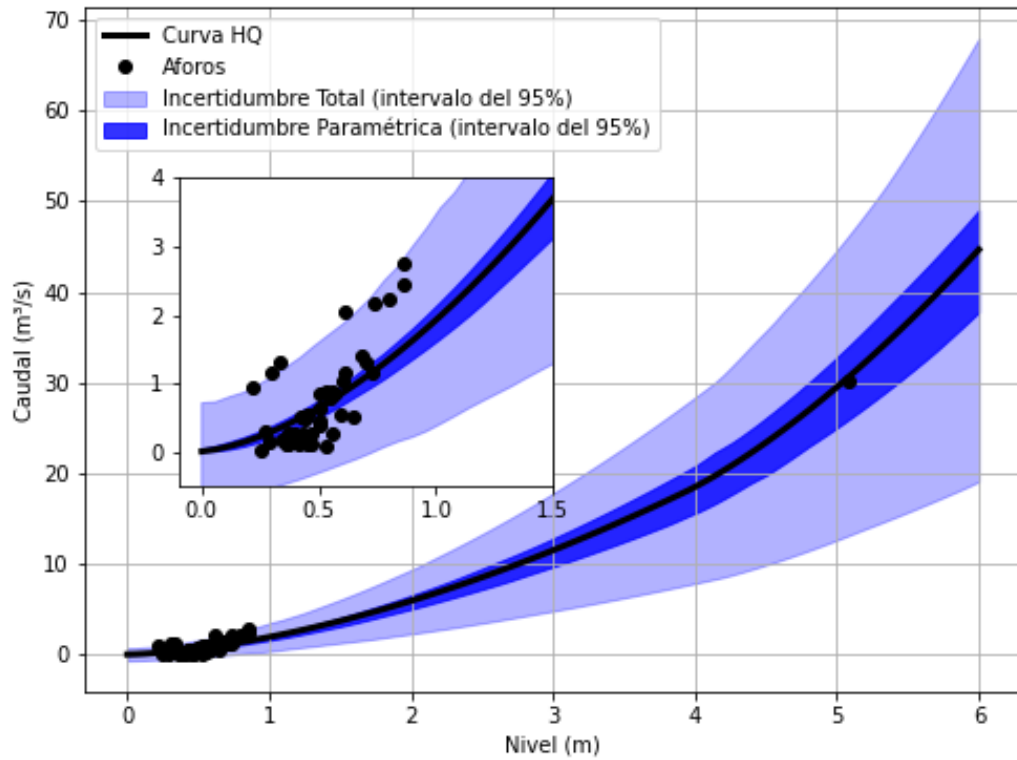


Figura 2.2. Curva HQ actualizada de la EM03.

2.3.2. EM04

En esta estación se realizaron 59 aforos, los cuales se pueden ver en la Figura 2.3. A partir del análisis de los mismos se decidió usar todos los registros de caudales en la construcción de la curva HQ.

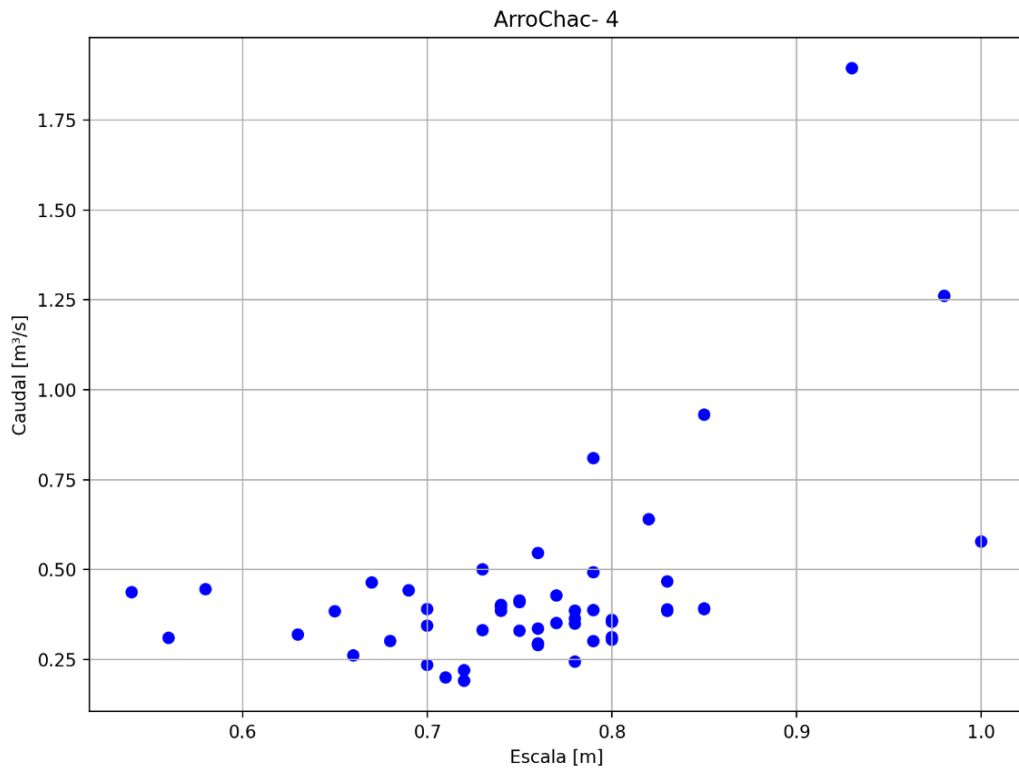


Figura 2.3. Aforos históricos realizados en EM04 con ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.2) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.4.

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

Ecuación 2.2. Curva HQ de la EM04.

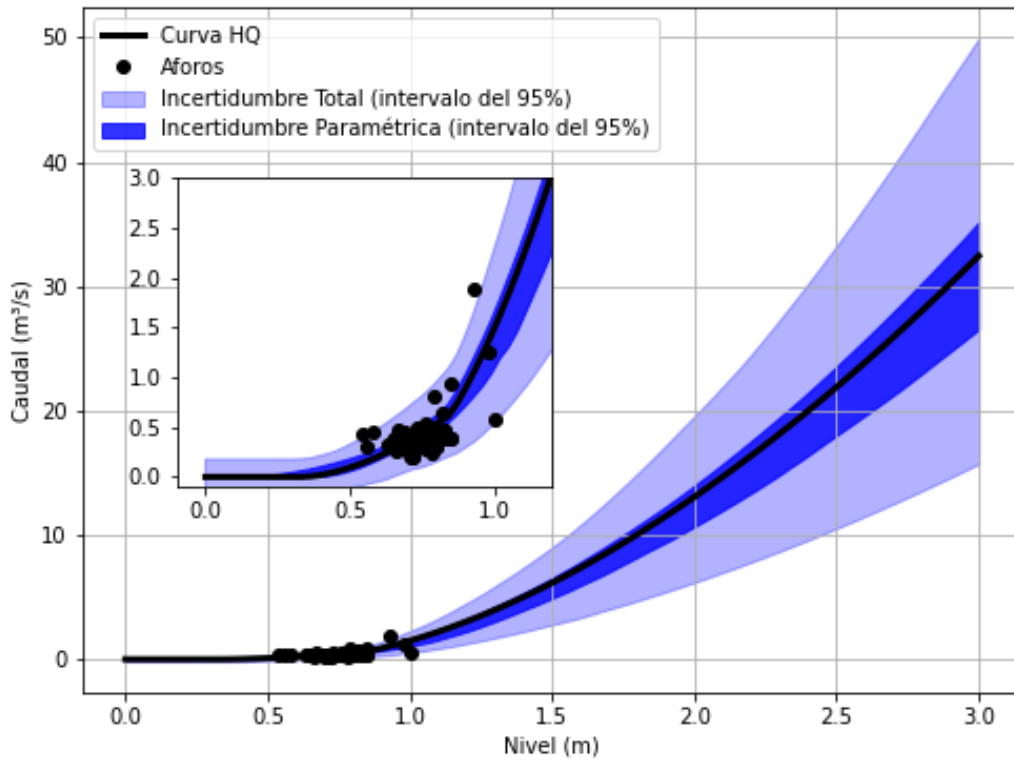


Figura 2.4. Curva HQ actualizada de la EM04.

2.3.3. EM08

En esta estación se realizaron 59 aforos, los cuales se pueden ver en la Figura 2.5. A partir del análisis de los mismos se descartaron tres aforos pues los niveles registrados estaban influenciados por el nivel del río Matanza (el río Matanza presentaba condiciones de crecida, generando un remanso que afectaba los niveles en la sección de aforo de la EM08) y un aforo por no tener valor asociado de nivel.

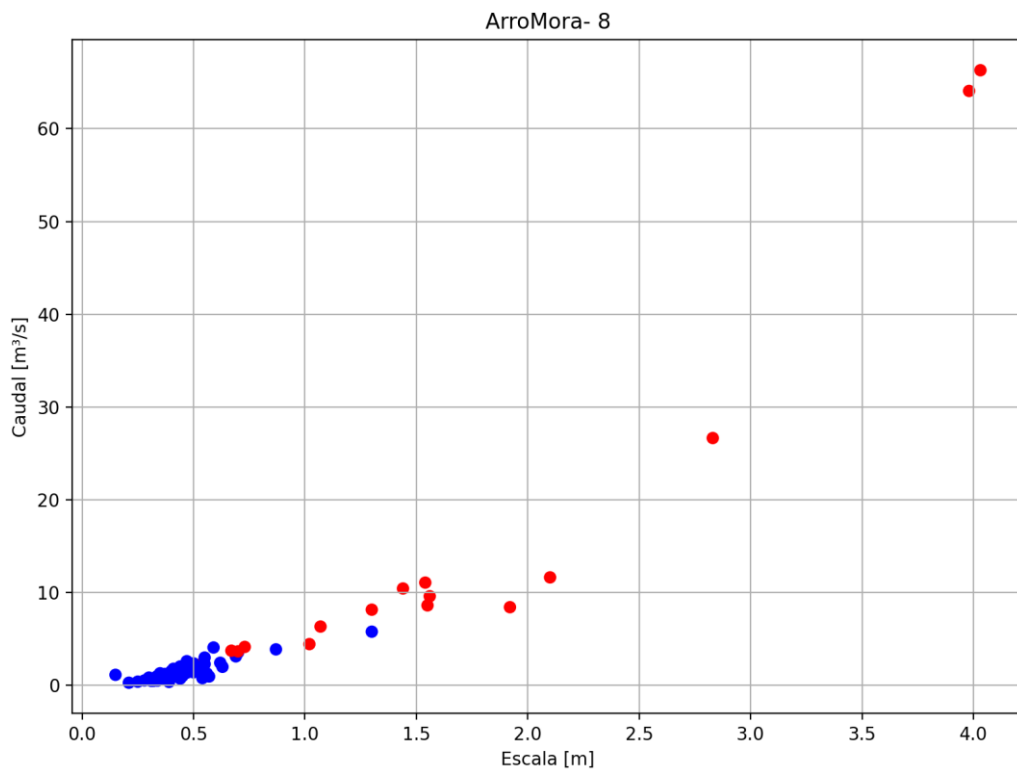


Figura 2.5. Aforos históricos realizados en EM08 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.3) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.6.

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

Ecuación 2.3. Curva HQ de la EM08.

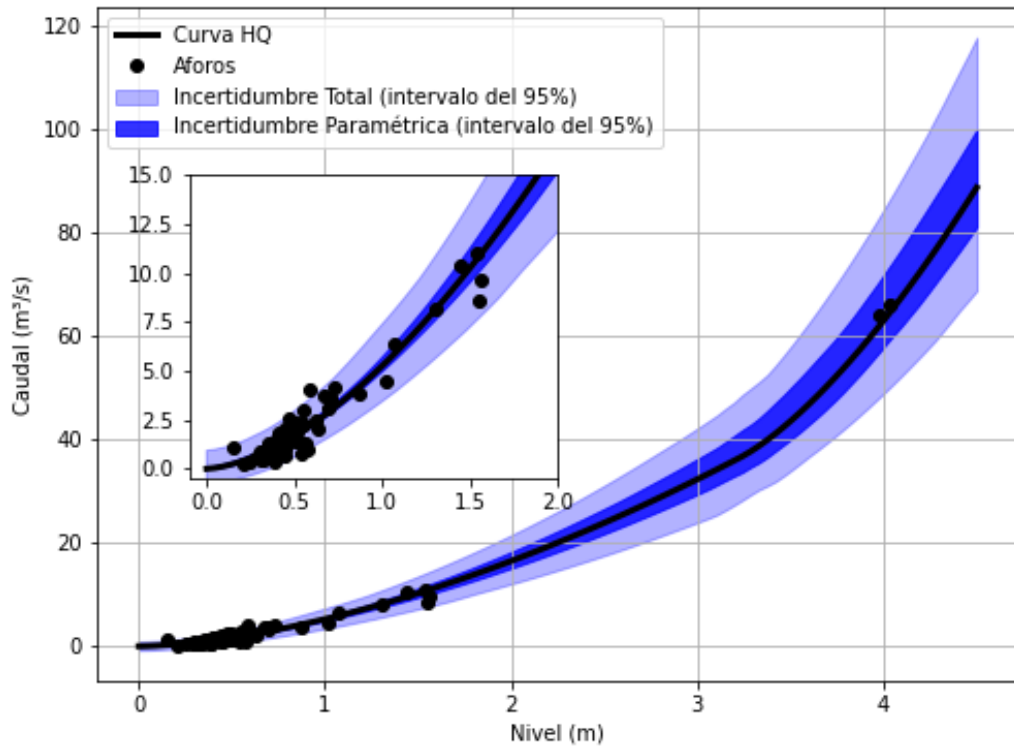


Figura 2.6. Curva HQ actualizada de la EM08 con sus respectivos intervalos de confianza.

2.3.4. EM10

En esta estación se realizaron 72 aforos, los cuales se pueden ver en la Figura 2.7. A partir del análisis de los mismos se descartaron tres aforos pues los niveles registrados estaban influenciados por el nivel del río Matanza (el río Matanza presentaba condiciones de crecida, generando un remanso que afectaba los niveles en la sección de aforo de la EM10). Adicionalmente se descartó un aforo por presentar un valor poco consistente.

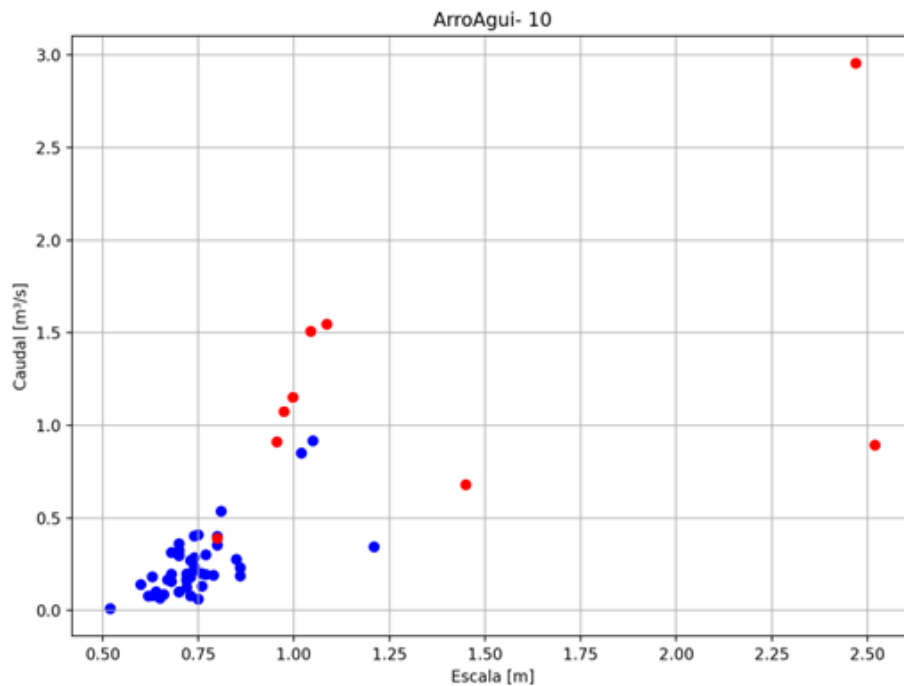


Figura 2.7. Aforos históricos realizados en EM10 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.4) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.8. En este caso, la inclusión de los caudales obtenidos en la campaña de aforos especiales produce un aumento en las incertidumbres de la curva HQ (ver Figura 2.9), esto puede estar asociado a un cambio realizado en la sección, en la cual se limpiaron los vanos del puente vial del Camino Real Presbítero Juan G. González y Aragón, cambiando el funcionamiento hidráulico de la mencionada sección.

$$Q(h) = \begin{cases} 0,440304(h - 0,209008)^{1,68567} & 0,21 \leq h \leq 0,48 \\ 2,16898(h - 0,647815)^{1,64616} & 0,48 \leq h \leq 1,74 \\ 2,16898(h - 0,647815)^{1,64616} + 0,329077(h - 1,74959)^{1,65643} & 1,74 \leq h \leq 3,00 \end{cases}$$

Ecuación 2.4. Curva HQ de la EM10.

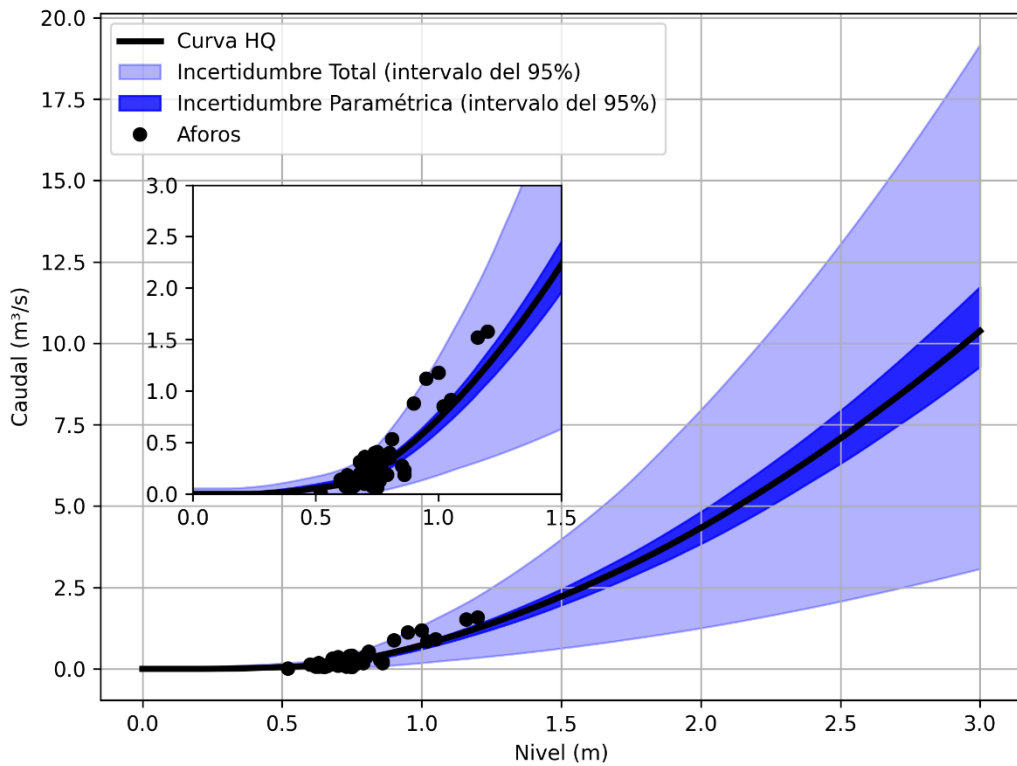


Figura 2.8. Curva HQ actualizada de la EM10 con sus respectivos intervalos de confianza.

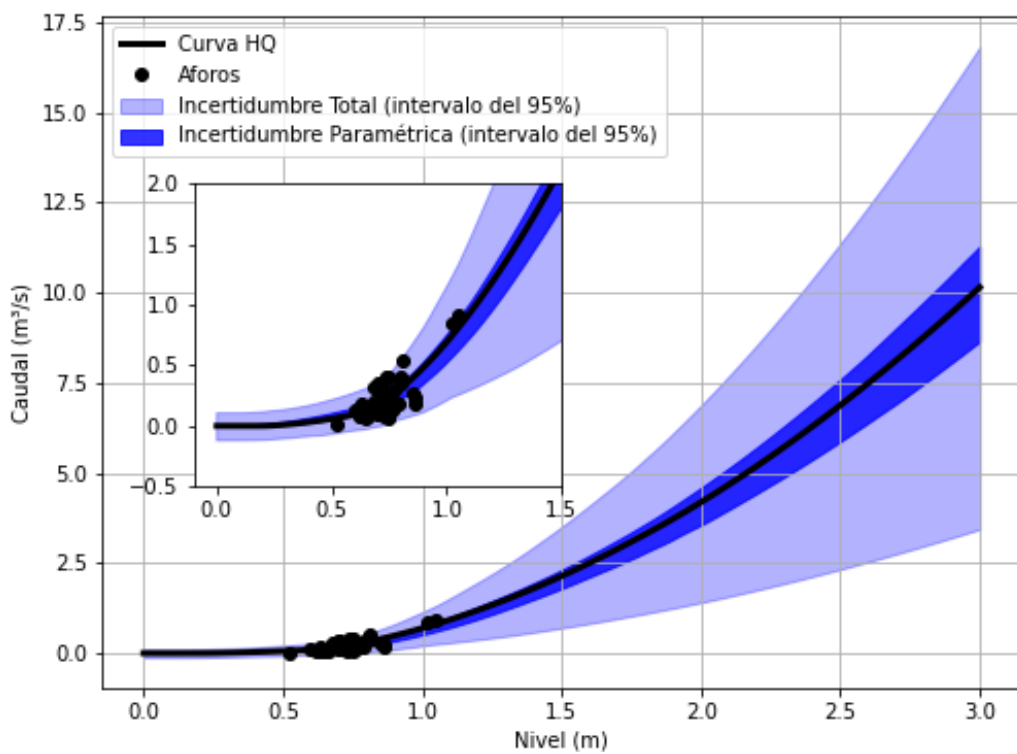


Figura 2.9. Curva HQ previa de la EM10 con sus respectivos intervalos de confianza

2.3.5. EM11

En esta estación se realizaron 56 aforos, los cuales se pueden ver en la Figura 2.10. A partir del análisis de los mismos se descartaron cuatro aforos pues los niveles registrados estaban influenciados por el nivel del río Matanza (el río Matanza presentaba condiciones de crecida, generando un remanso que afectaba los niveles en la sección de aforo de la EM11).

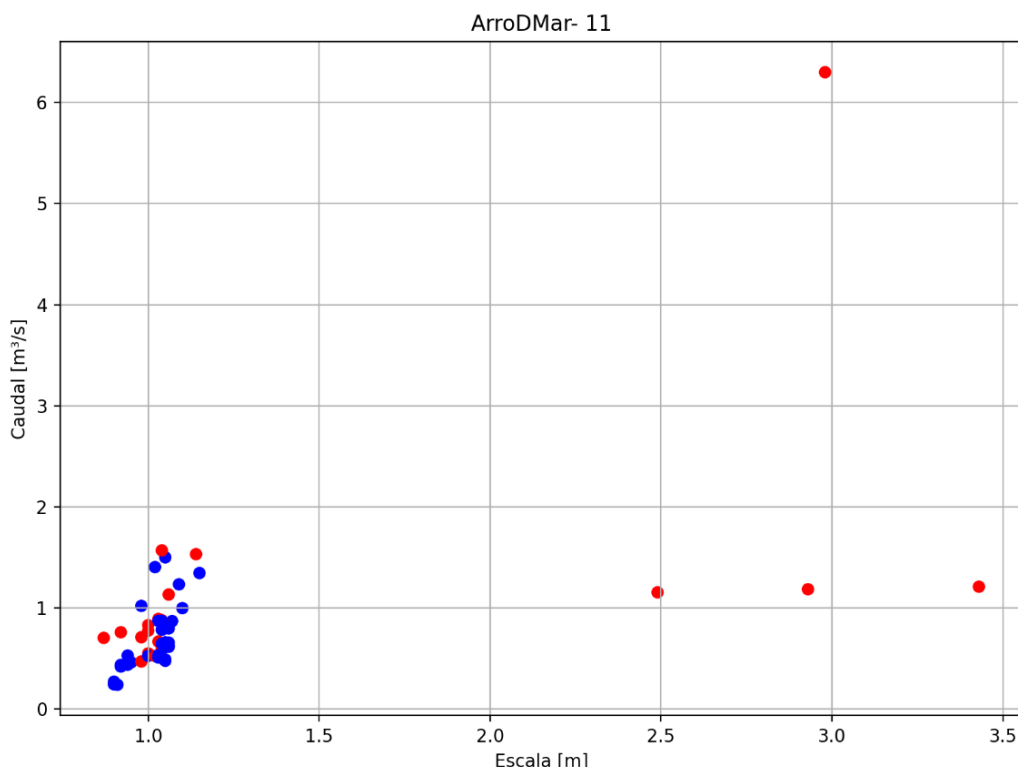


Figura 2.10. Aforos históricos realizados en EM11 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.5) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.11.

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

Ecuación 2.5. Curva HQ de la EM11.

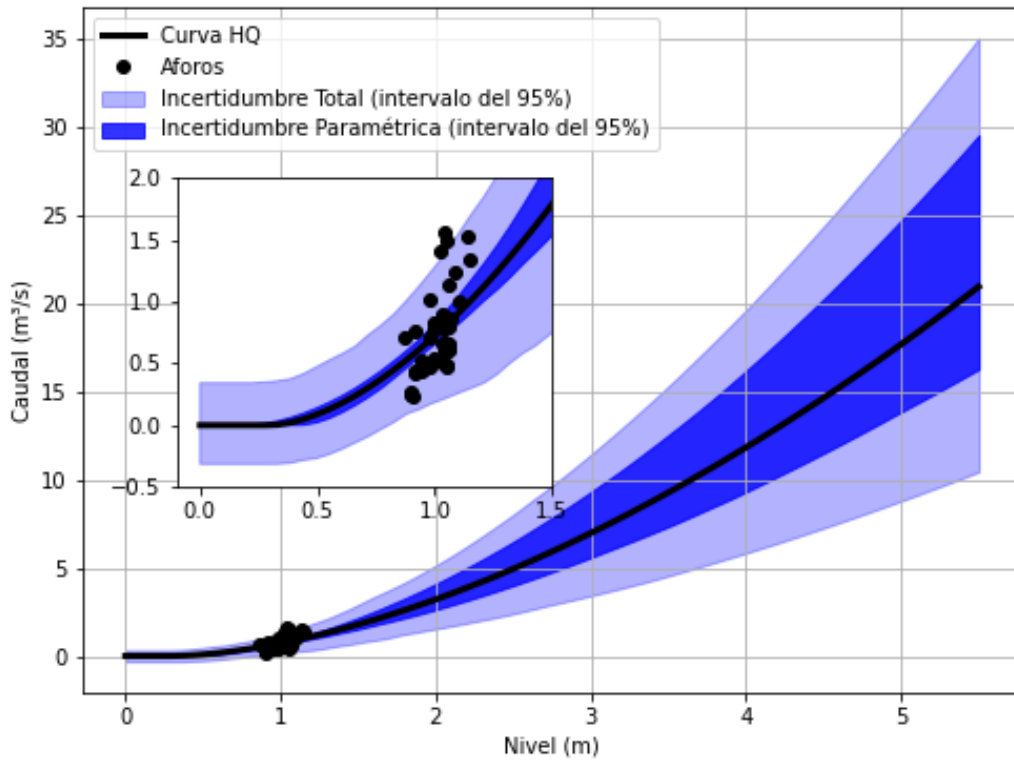


Figura 2.11. Curva HQ actualizada de la EM11 con sus respectivos intervalos de confianza.

2.3.6. EM12

En esta estación se realizaron 45 aforos, los cuales se pueden ver en la Figura 2.12. A partir del análisis de los mismos se descartaron tres aforos pues las mediciones se realizaron durante eventos de Sudestada (en este caso los niveles del Río de la Plata generan un efecto de remanso que afectaba los niveles en la sección de aforo de la EM12).

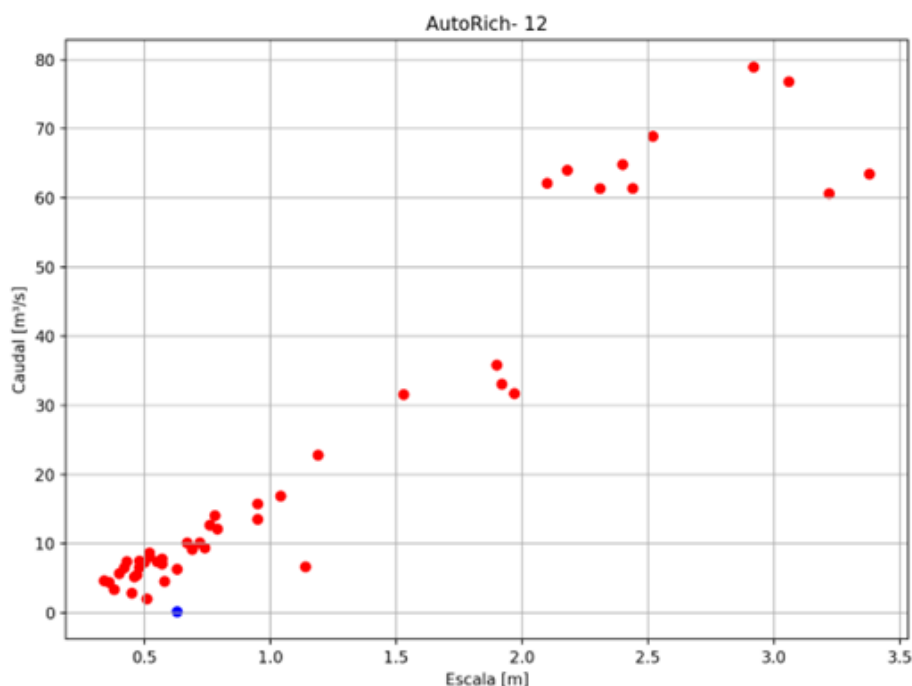


Figura 2.12. Aforos históricos realizados en EM12 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.6) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.13. Puede observarse que la inclusión de caudal obtenido en la campaña de aforo especial realizada en esta sección se traduce en una disminución en las bandas de incertidumbre respecto de la curva obtenida previamente^{10,11}. (ver Figura 2.14).

$$Q(h) = \begin{cases} 13,6631(h - 0,082703)^{1,664} & -0,08 \leq h \leq 4,00 \\ 13,6631(h - 0,082703)^{1,664} + 18,7532(h - 4,00244)^{1,656461} & 4,00 \leq h \leq 5,00 \end{cases}$$

Ecuación 2.6. Curva HQ de la EM12.

¹⁰ Leandro Kazimierski, Pablo E. García, Nicolás Ortiz, Mayra Morale y Mariano Re. “Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo. Informe 05 – Elaboración de relaciones altura - caudal (curvas HQ)”. Proyecto INA 397, Informe LHA 05-397-21. Comitente: ACUMAR, septiembre 2021.

¹¹ bdh.acumar.gov.ar/bdh3/publicacion_master.php?idobject=509956&retorno=publicacion_listado.php

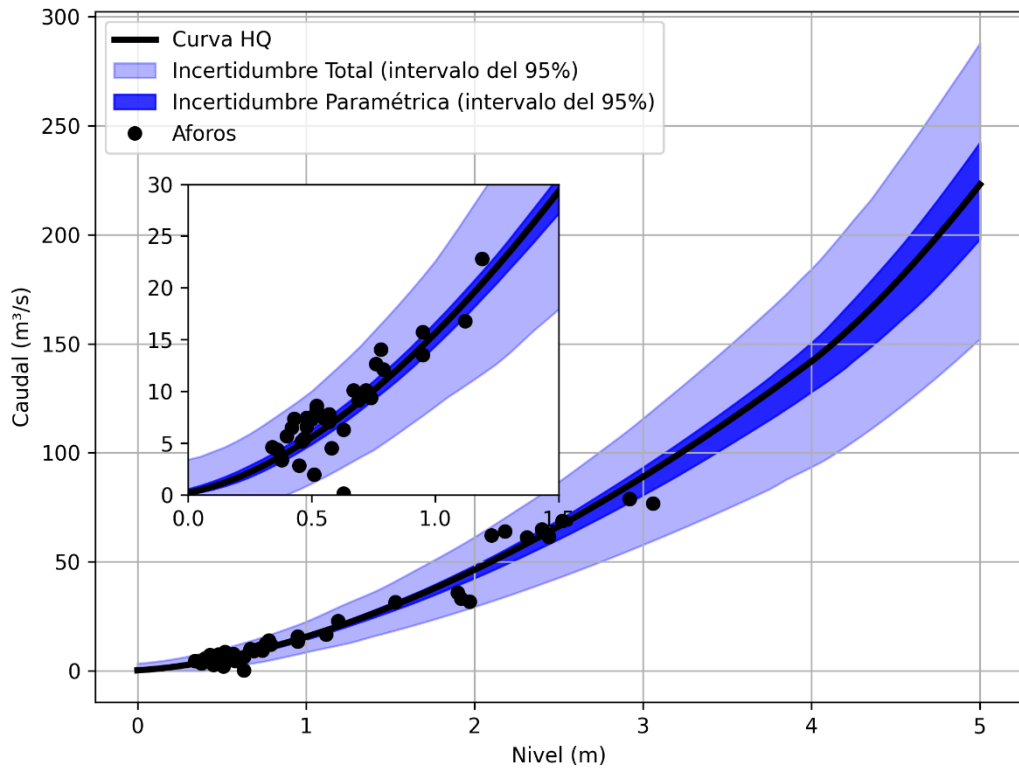


Figura 2.13. Curva HQ actualizada de la EM12 con sus respectivos intervalos de confianza.

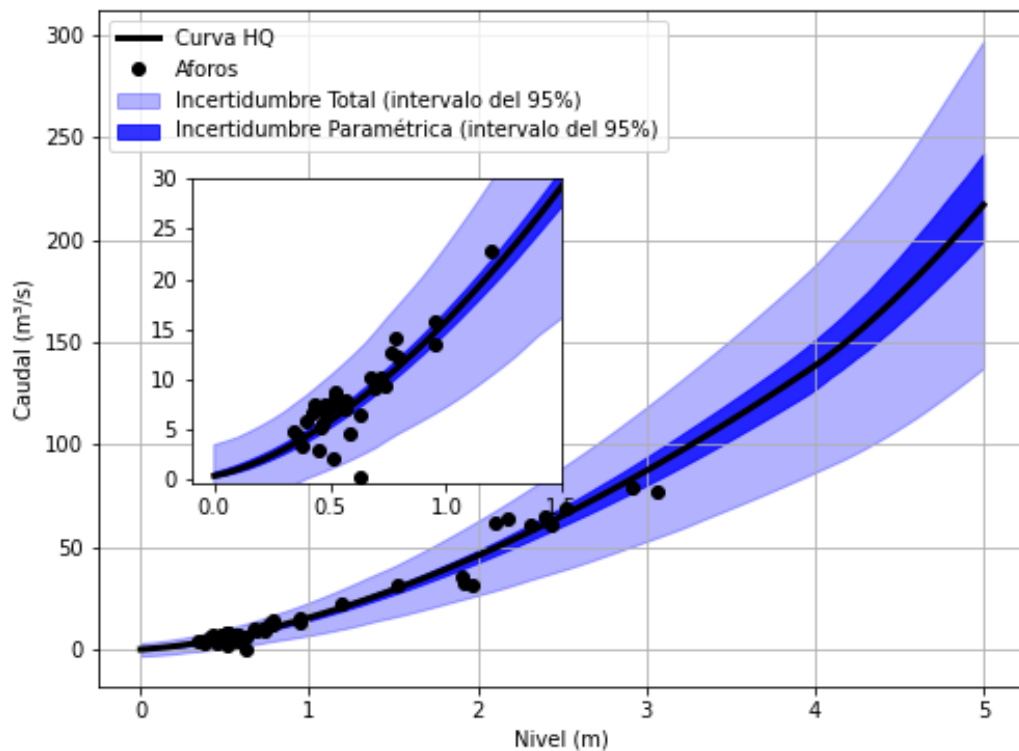


Figura 2.14. Curva HQ previa de la EM12 con sus respectivos intervalos de confianza.

2.3.7. EM13

En esta estación se realizaron 56 aforos, los cuales se pueden ver en la Figura 2.15. A partir del análisis de los mismos se descartaron 18 aforos por no tener asociados el nivel registrado en la regla hidrométrica y cuatro aforos pues los niveles registrados estaban influenciados por el nivel del río Matanza (el río Matanza presentaba condiciones de crecida, generando un remanso que afectaba los niveles en la sección de aforo de la EM13). Adicionalmente se descartaron 18 registros de caudales pues se realizaron antes de la ampliación de la Planta Sudoeste, cuya descarga se ubica inmediatamente aguas arriba de esta sección.

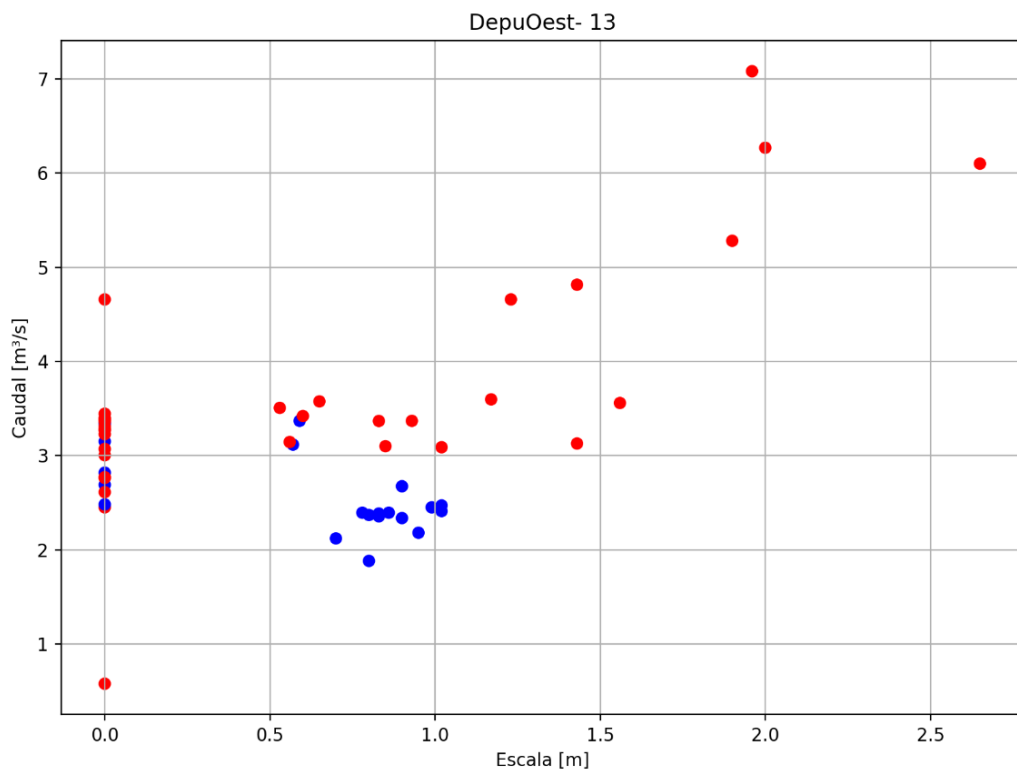


Figura 2.15. Aforos históricos realizados en EM13 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.7) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.16.

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

Ecuación 2.7. Curva HQ de la EM13.

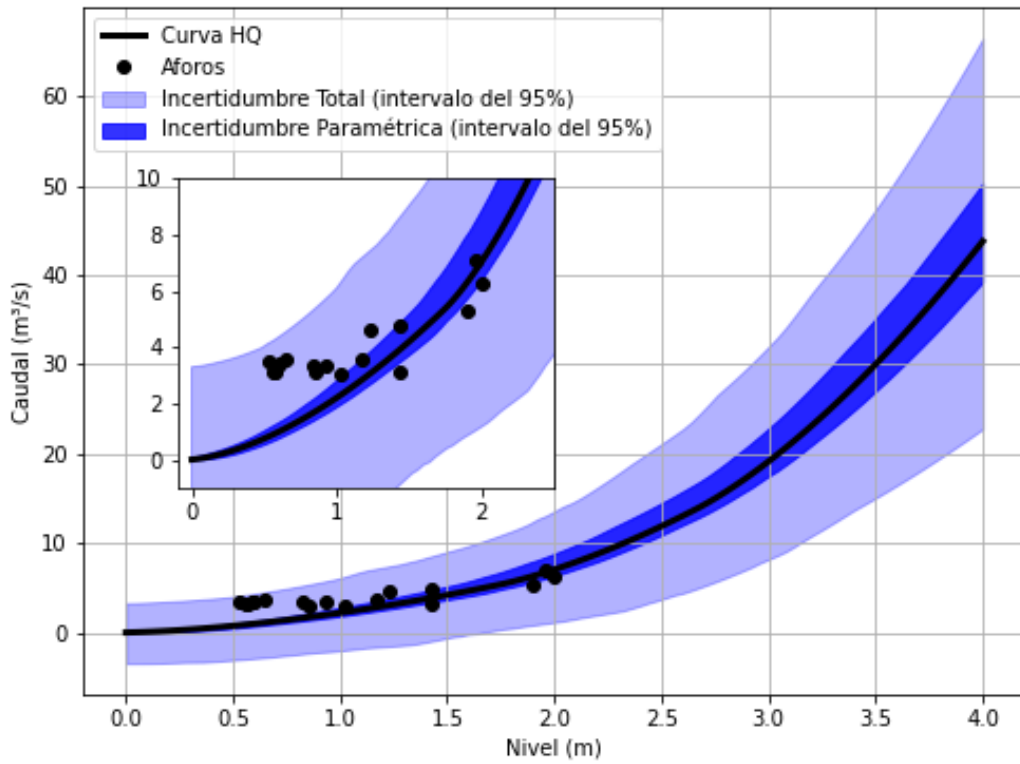


Figura 2.16. Curva HQ actualizada de la EM13 con sus respectivos intervalos de confianza.

2.3.8. EM14

En esta estación se realizaron 56 aforos, los cuales se pueden ver en la Figura 5.29. A partir del análisis de los mismos se descartaron cinco aforos pues los niveles registrados estaban influenciados por el nivel del Riachuelo (el Riachuelo presentaba condiciones de crecida, generando un remanso que afectaba los niveles en la sección de aforo de la EM14). Adicionalmente se descartó un aforo por presentar un valor poco consistente.

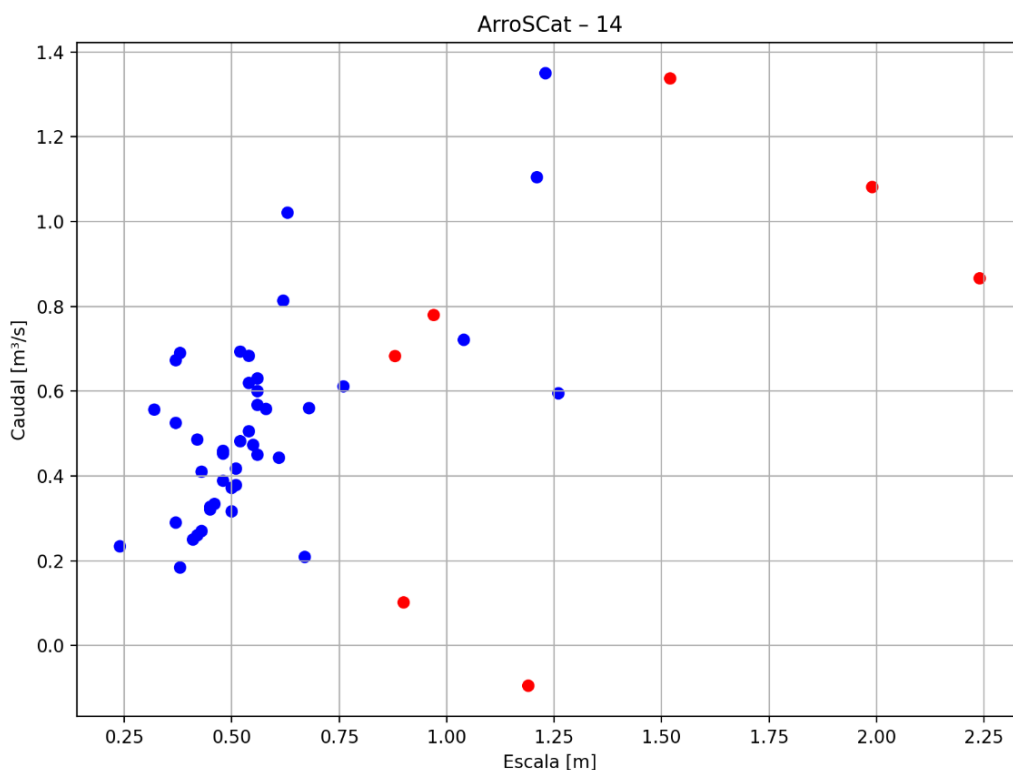


Figura 2.17. Aforos históricos realizados en EM14 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.8) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 5.30.

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

Ecuación 2.8. Curva HQ de la EM14.

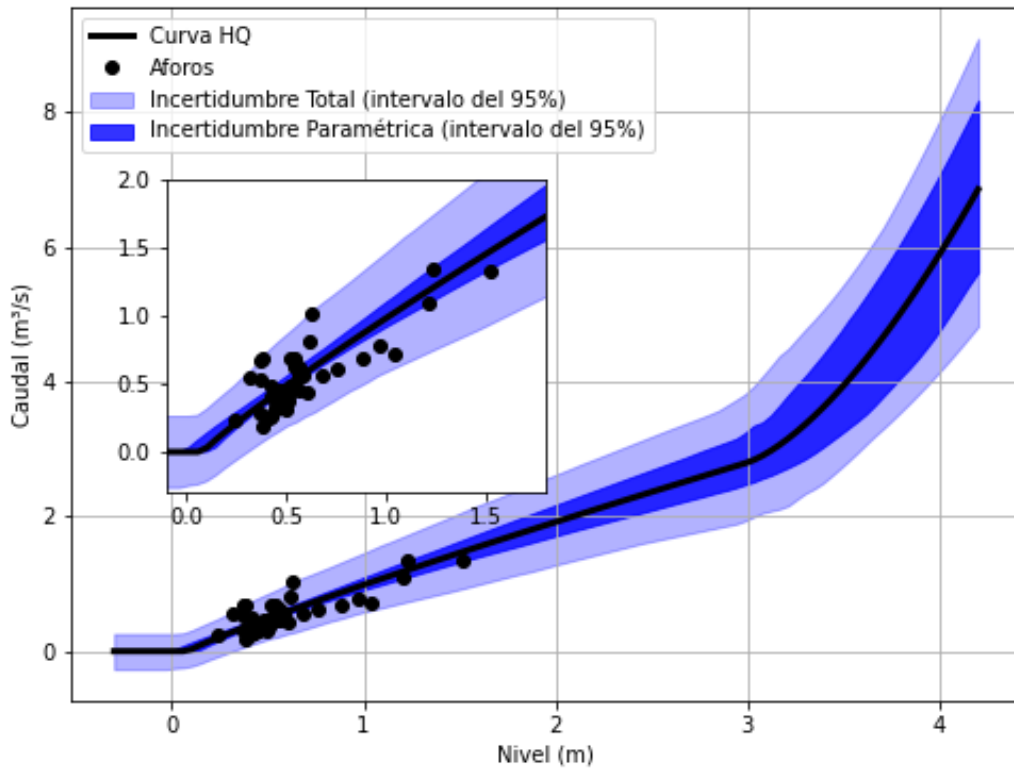


Figura 2.18. Curva HQ actualizada de la EM14 con sus respectivos intervalos de confianza.

2.3.9. EM16

En esta estación se realizaron 48 aforos (ver Figura 2.19) de los cuales 26 pertenecen a la sección anterior donde se ubicaba la estación (que fueron dejados de lados en este análisis). A partir del análisis de los mismos se descartaron 12 aforos por no tener asociados el nivel registrado en la regla hidrométrica y 1 aforo por presentar un valor poco consistente. Adicionalmente se descartó un aforo pues el nivel registrado estaba influenciado por el nivel del Riachuelo (el Riachuelo presentaba condiciones de crecida, generando un remanso que afectaba los niveles en la sección de aforo de la EM16) y un aforo por presentar un valor poco consistente.

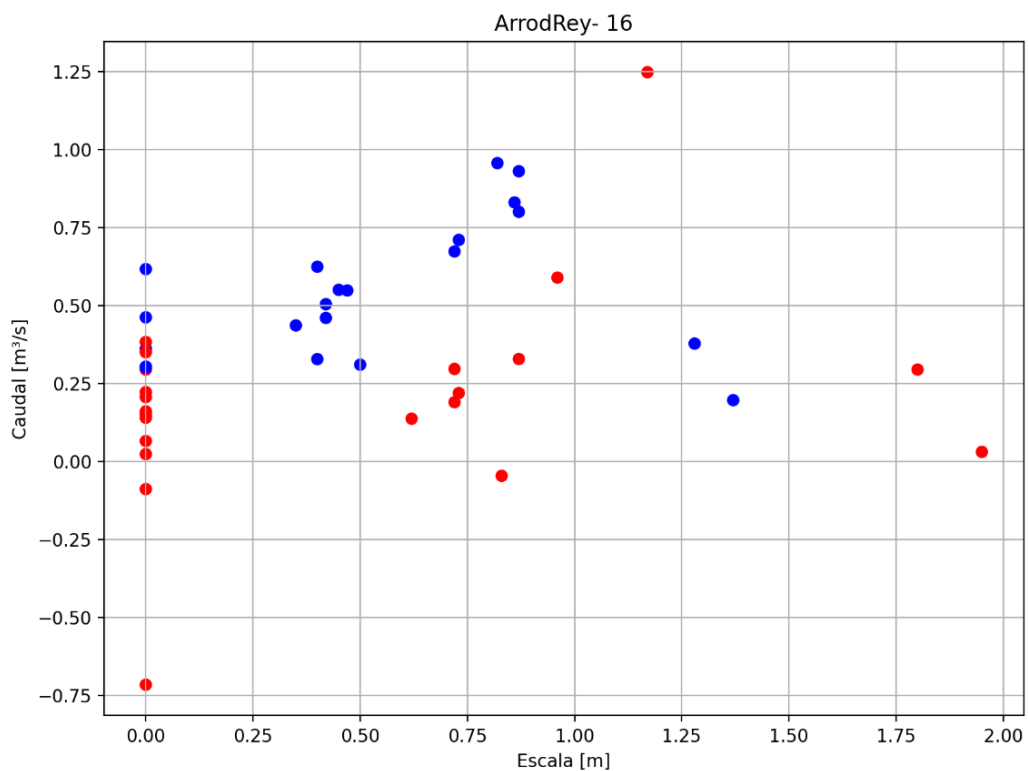


Figura 2.19. Aforos históricos realizados en EM16 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.9) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.20.

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

Ecuación 2.9. Curva HQ de la EM16.

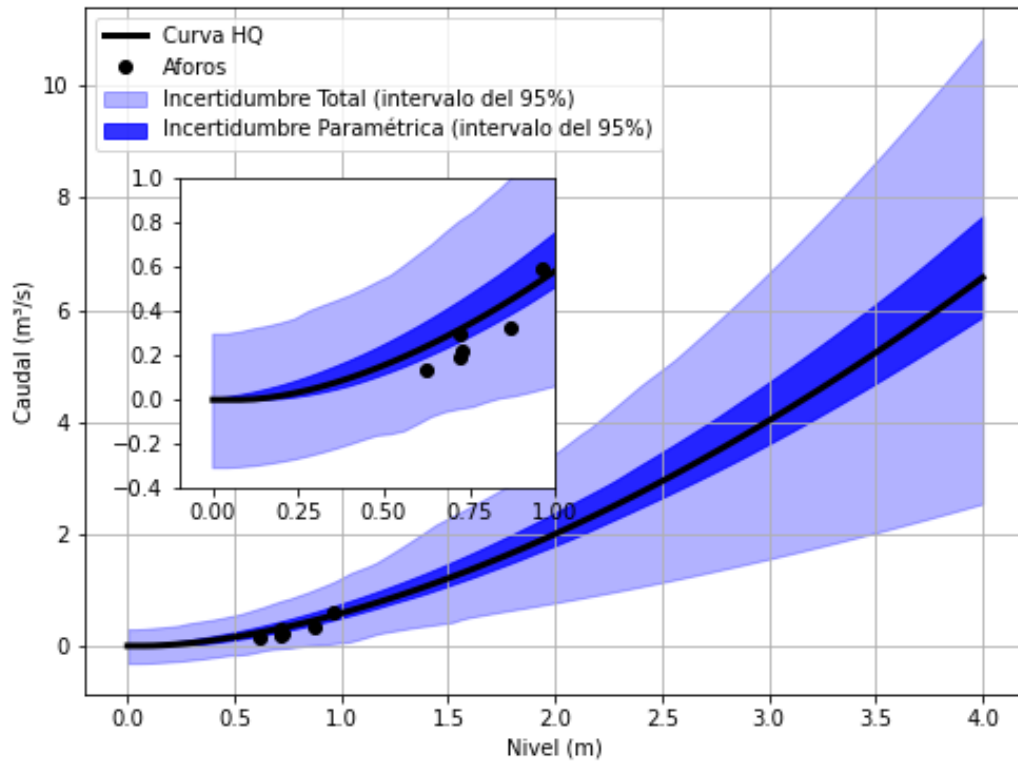


Figura 2.20. Curva HQ actualizada de la EM16 con sus respectivos intervalos de confianza.

2.3.10. EM37

En esta estación se realizaron 57 aforos, los cuales se pueden ver en la Figura 2.21. Se descartó un aforo por no tener asociado el valor de nivel.

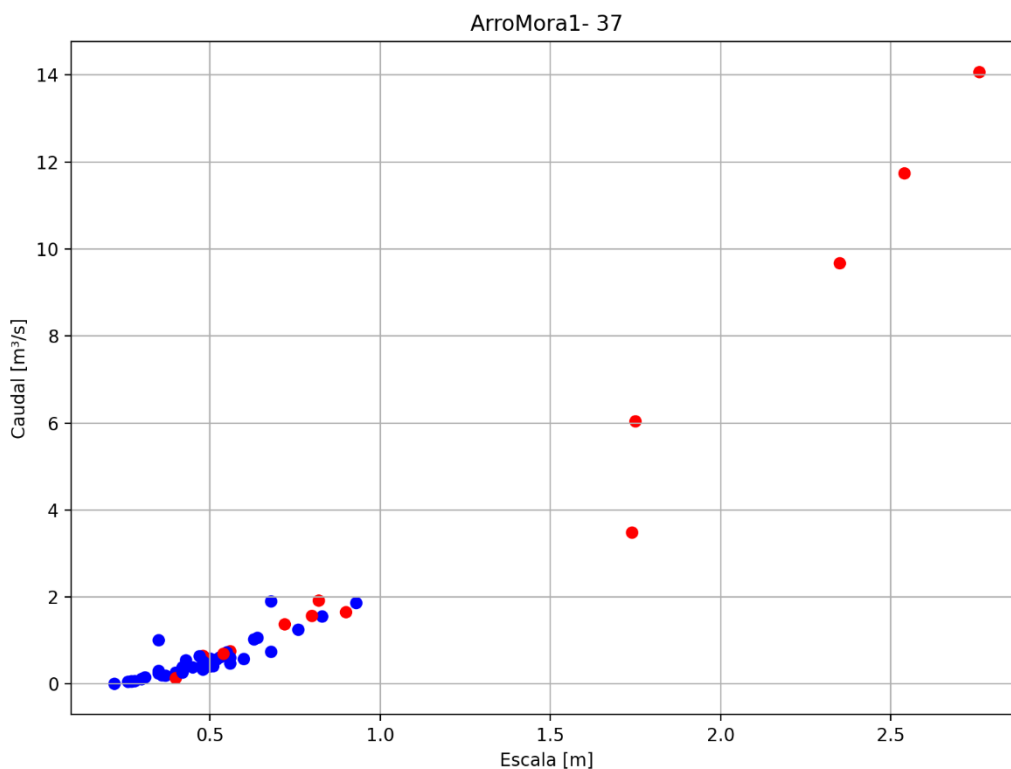


Figura 2.21. Aforos históricos realizados en EM37 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.10) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.22.

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

Ecuación 2.10. Curva HQ de la EM37.

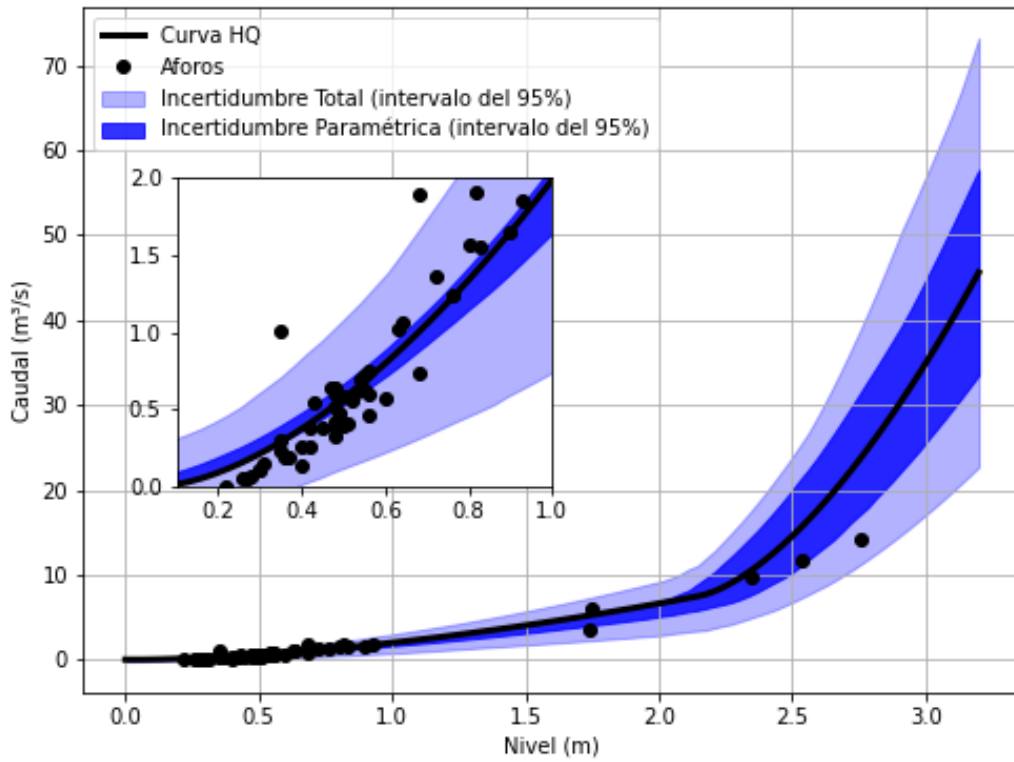


Figura 2.22. Curva HQ actualizada de la EM37 con sus respectivos intervalos de confianza.

2.3.11. EM41

En esta estación se realizaron 47 aforos, los cuales se pueden ver en la Figura 2.23. A partir del análisis de los mismos se descartaron cuatro aforos por presentar valores poco consistentes.

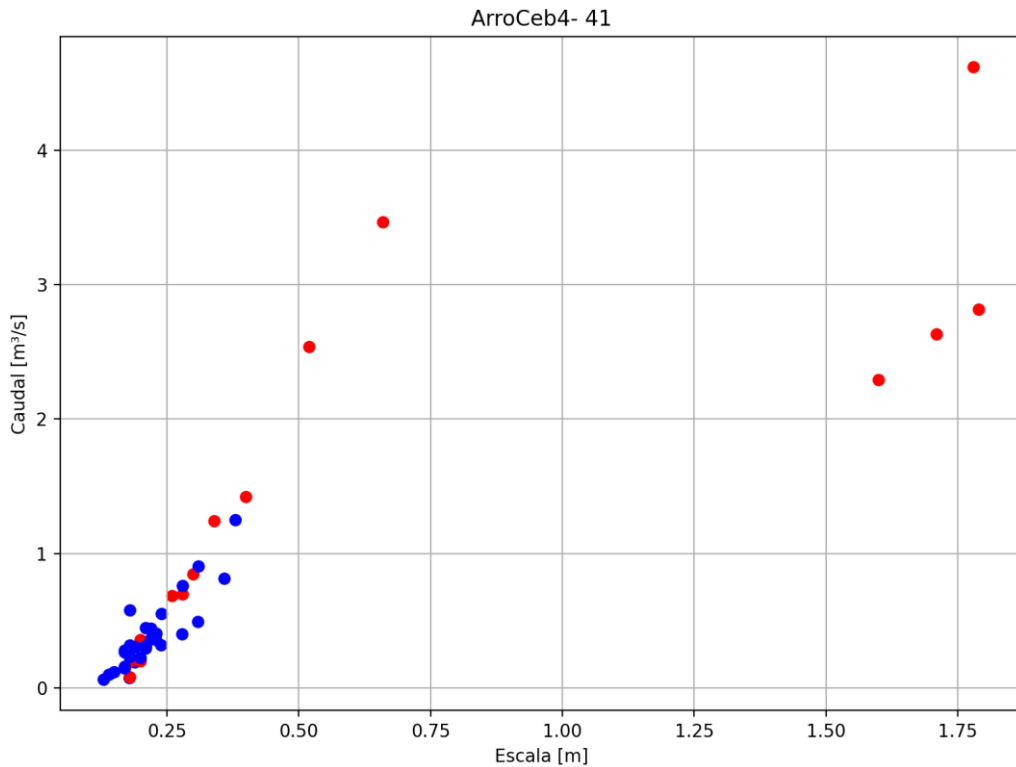


Figura 2.23. Aforos históricos realizados en EM41 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.11) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.24.

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

Ecuación 2.11. Curva HQ de la EM41.

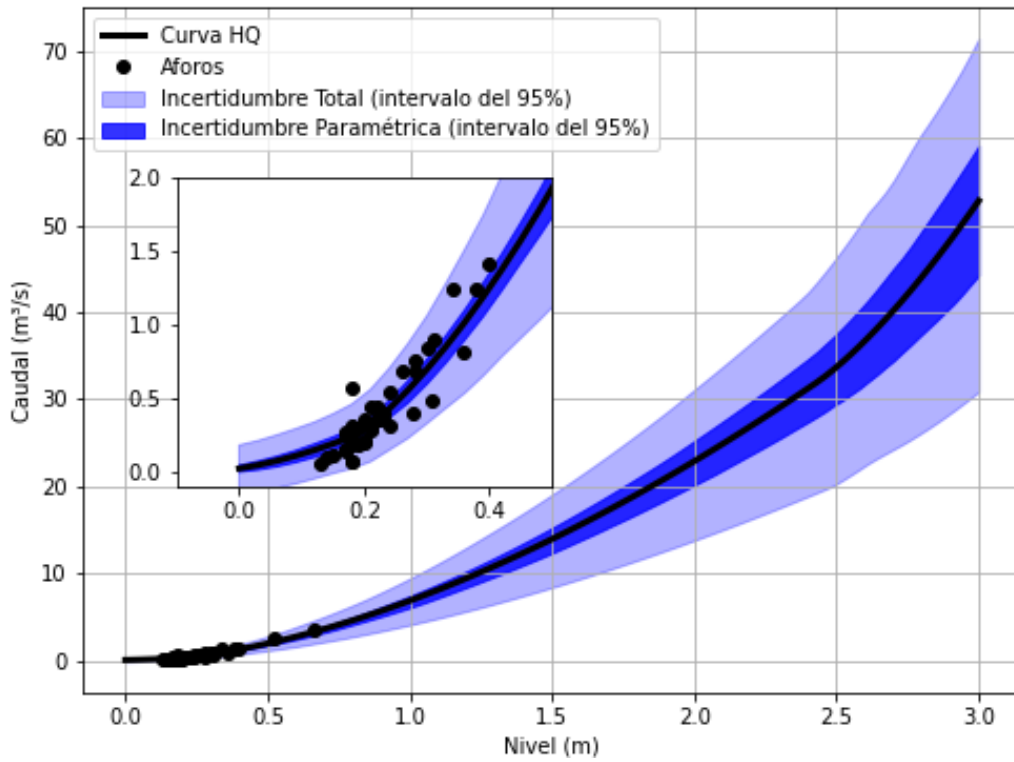


Figura 2.24. Curva HQ actualizada de la EM41 con sus respectivos intervalos de confianza.

2.3.12. EM68

En esta estación se realizaron 46 aforos, los cuales se presentan en la Figura 2.25. En el año 2015 hubo un cambio en el tramo 1 de la escala hidrométrica de la estación de monitoreo, razón por la cual se descartaron todos los aforos previos a ese año (en total fueron ocho mediciones). Adicionalmente se descartó tres aforos por no tener asociados el nivel registrado en la regla hidrométrica.

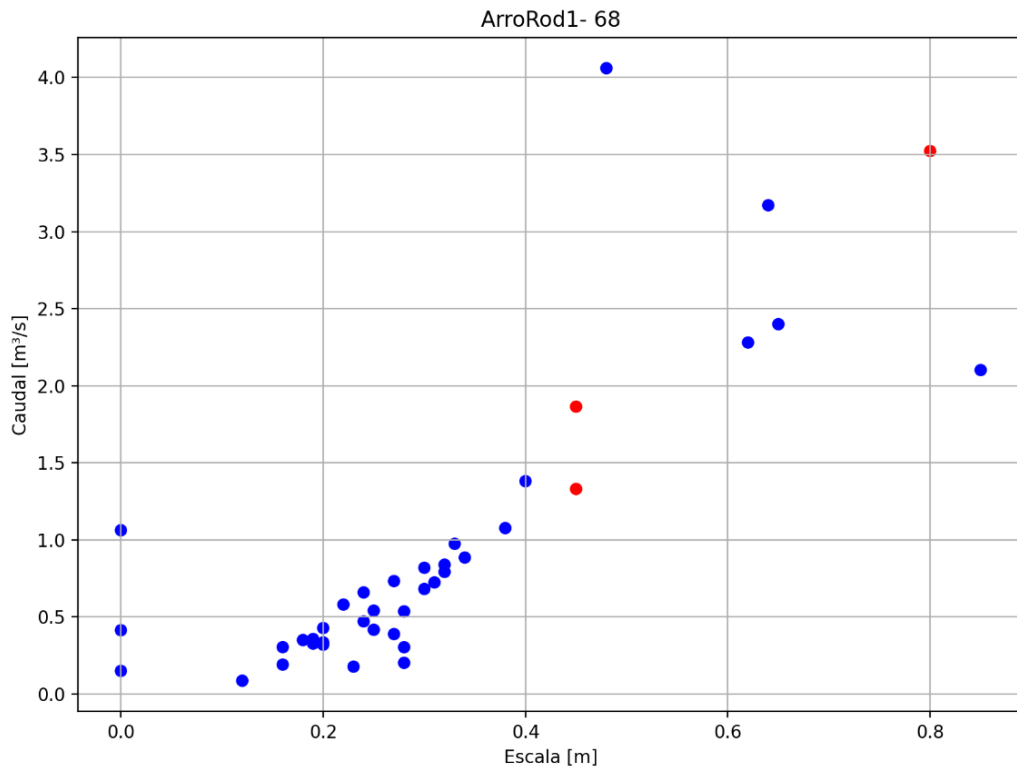


Figura 2.25. Aforos históricos realizados en EM68 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.12) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.26.

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

Ecuación 2.12. Curva HQ de la EM68.

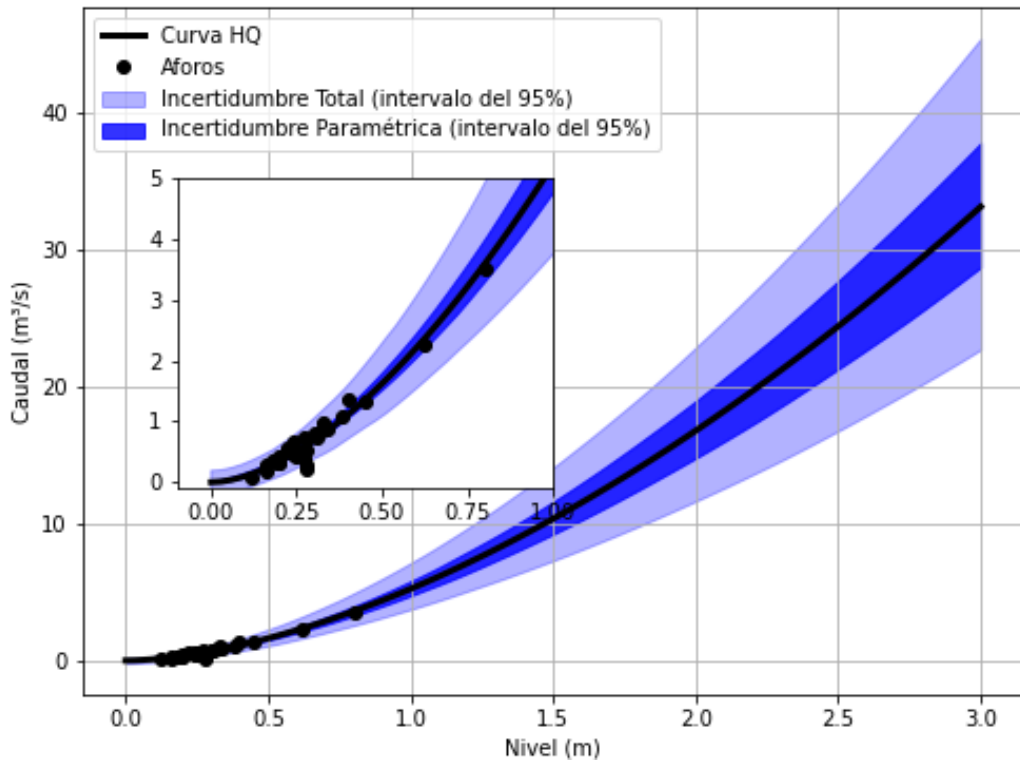


Figura 2.26. Curva HQ actualizada de la EM68 con sus respectivos intervalos de confianza.

2.3.13. EM76

En esta estación se realizaron 31 aforos, los cuales se pueden ver en la Figura 2.27. A partir del análisis de los mismos se descartaron 18 aforos por no tener asociados el nivel registrado en la regla hidrométrica y un aforo por presentar un valor poco consistente. Adicionalmente se descartó un aforo pues el nivel registrado estaba influenciado por el nivel del río Matanza (el río Matanza presentaba condiciones de crecida, generando un remanso que afectaba los niveles en la sección de aforo de la EM76).

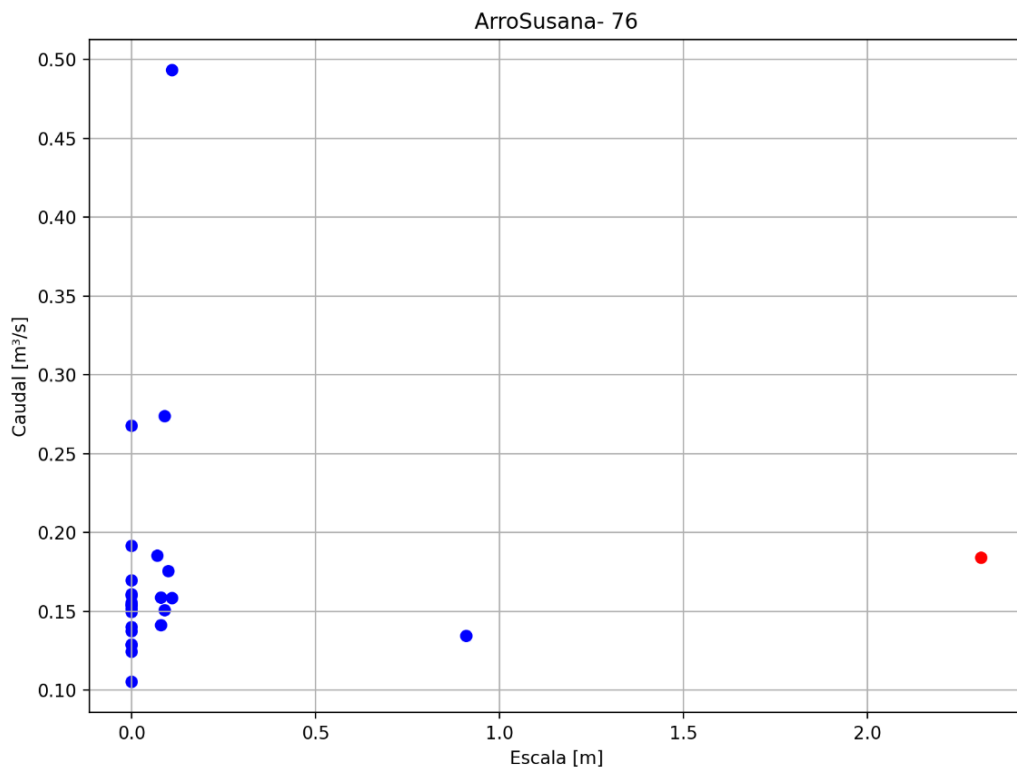


Figura 2.27. Aforos históricos realizados en EM76 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.13) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.28.

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

Ecuación 2.13. Curva HQ de la EM76.

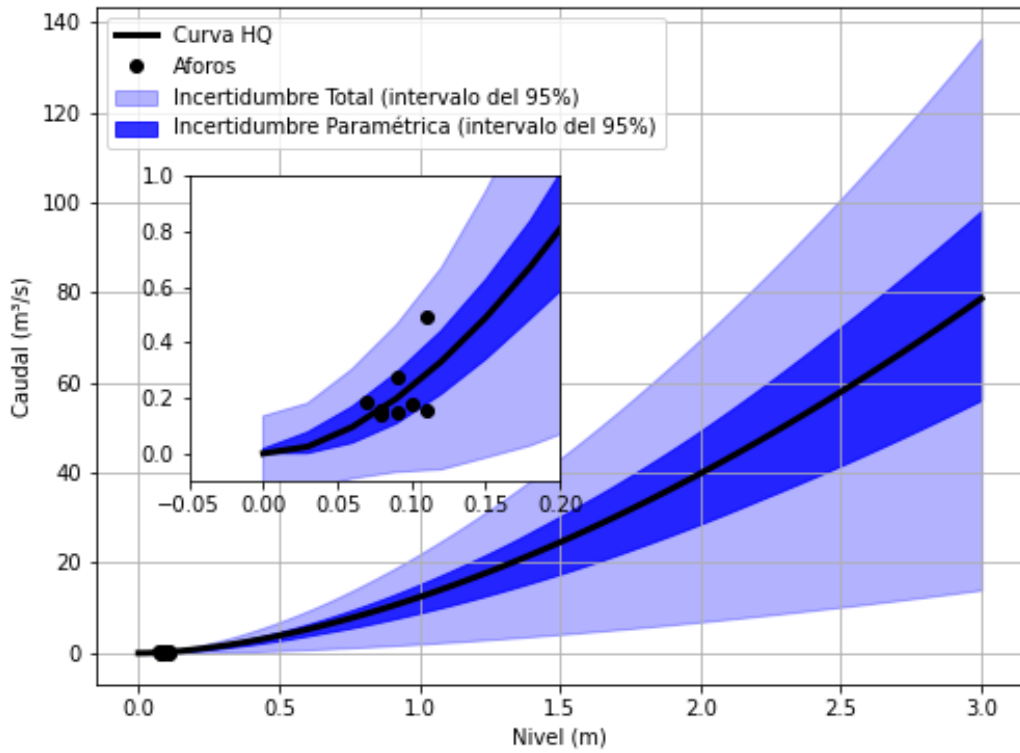


Figura 2.28. Curva HQ actualizada de la EM76 con sus respectivos intervalos de confianza.

2.3.14. EM77

En esta estación se realizaron 27 aforos, los cuales se pueden ver en la Figura 2.29. A partir del análisis de los mismos se descartaron 16 aforos por no tener asociados el nivel registrado en la regla hidrométrica. Adicionalmente se descartó un aforo pues el nivel registrado estaba influenciado por el nivel del río Matanza (el río Matanza presentaba condiciones de crecida, generando un remanso que afectaba los niveles en la sección de aforo de la EM77).

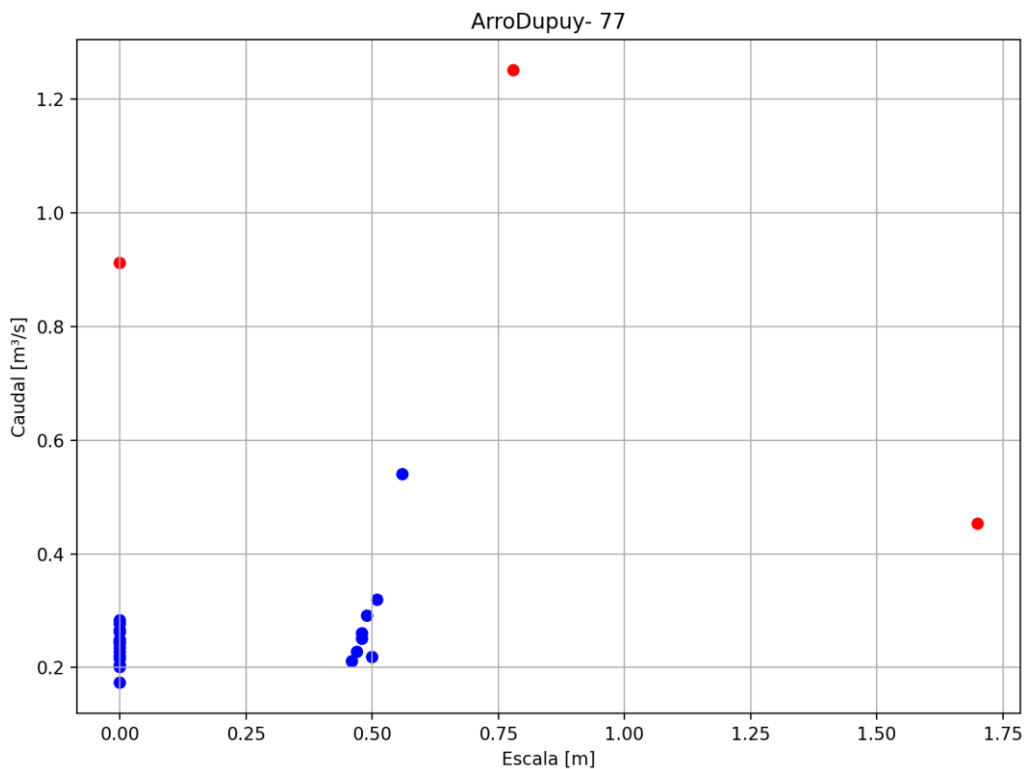


Figura 2.29. Aforos históricos realizados en EM77 con ADCP (círculos rojos) y ADV (círculos azules).

La curva HQ actualizada para la presente estación (ver Ecuación 2.14) junto con las bandas de incertidumbre asociada se presentan en la Figura 2.30.

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

Ecuación 2.14. Curva HQ de la EM77.

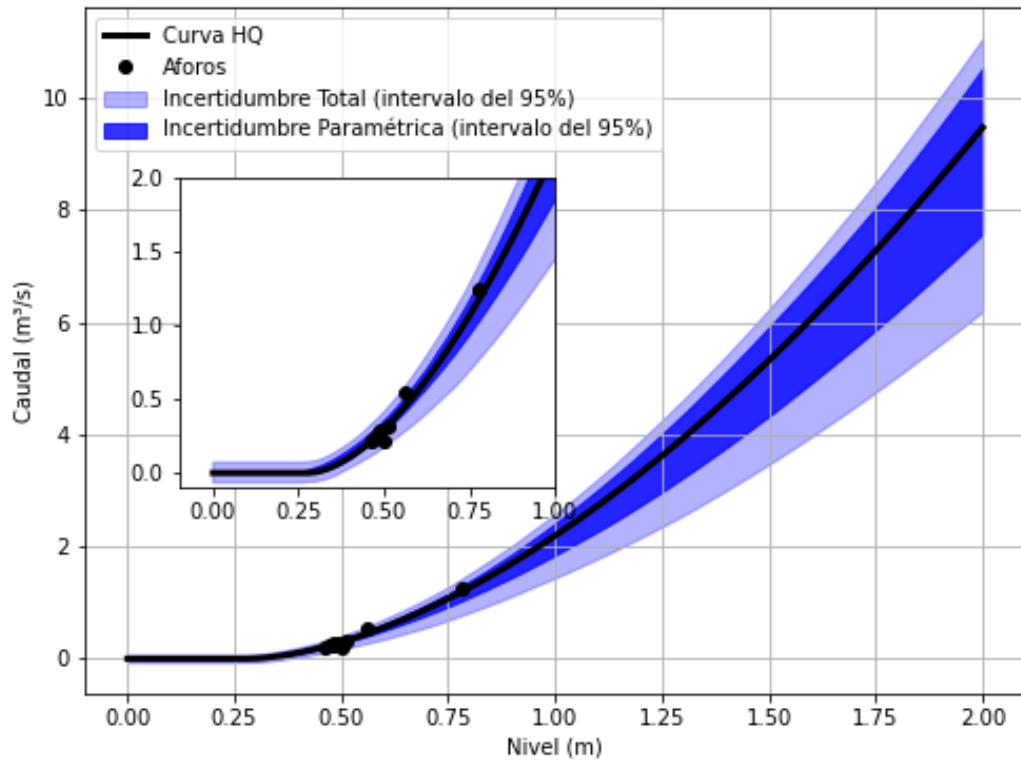


Figura 2.30. Curva HQ actualizada de la EM77 con sus respectivos intervalos de confianza.

2.4. Conclusiones y recomendaciones

Se actualizaron las relaciones entre alturas y caudales en catorce estaciones de monitoreo de la red de ACUMAR. De esas curvas HQ solo dos presentan cambios (las de las estaciones EM10 y EM12), pues ahí se realizaron aforos en situaciones de aguas medias – medias altas. Las curvas HQ actualizadas cumplen con todos requisitos para poder elaborar una relación entre alturas y caudales y cuentan con una cantidad razonable de aforos.

Se destaca la implementación de una novedosa metodología para obtener curvas HQ. Dicha metodología combina un análisis hidráulico de la estación y los aforos registrados en la misma utilizando la técnica de inferencia Bayesiana mediante el software BaRatinAGE desarrollado por el INRAE (Institut National de Recherche pour l’agriculture, l’alimentation et l’environnement) de Francia. Respecto a la metodología clásica de obtención de curvas HQ (que consiste en una regresión lineal minimizando el error cuadrático entre la función de ajuste y los pares de datos de altura y caudal obtenidos en campañas de aforo) este nuevo abordaje presenta una serie de ventajas que se detallan a continuación:

- Es de base física e incluye en el análisis las propiedades geométricas e hidráulicas del curso de agua.
- Permite tener distintos tramos de curvas según el nivel de agua.
- La curva generada por tramos es continua.
- Estima rangos de incertidumbre de la curva generada.
- Permite extrapolar para caudales más altos y bajos que los aforados.

De lo visto en la elaboración de las curvas HQ surge la necesidad de contar con mayor cantidad de registros en situaciones de aguas medias o altas. Esto es de suma importancia para verificar la performance de las curvas HQ generadas y, adicionalmente, sirve para ir disminuyendo los rangos de incertidumbres de las curvas.