COMISION TRINACIONAL PARA EL
DESARROLLO DE LA CUENCA DEL RIO
PILCOMAYO
DIRECCION EJECUTIVA
http://www.pilcomayo.net

Evaluación de los datos hidrológicos obtenidos en la cuenca del río Pilcomayo correspondiente al año hidrológico 2017-2018

Unidad de Monitoreo y Centro de Datos

Ing. Claudio Laboranti
Ing. María Alejandra Cristanchi
Lic. Javier Rospilloso

Marzo, 2019

Evaluación de los datos hidrológicos obtenidos en la cuenca del Río Pilcomayo correspondiente al año hidrológico 2017-2018

Contenido

INTRODUCCIÓN 2
PLUVIOMETRÍA 4
FRECUENCIAS 13
NIVELES 21
Villa Montes 21
El año hidrológico 2017 – 2018. Niveles instantáneos. 23
Fondo del cauce 26
Misión La Paz 30
El año hidrológico 2017 – 2018. Niveles instantáneos. 31
Fondo del cauce 36
NIVELES MÁXIMOS 39
Estación Villa Montes: 39
Estación Misión La Paz: 41
TRASLADO DE CRECIDAS 42
CAUDALES 45
Estación Villa Montes: 45
Estación Misión La Paz: 50
DERRAME 58
CONCLUSIONES 61

INTRODUCCIÓN

Se han analizado registros proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología de Bolivia (SENAMHI), la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la República Argentina (SIPH-EVARSA) y la Dirección de Meteorología e Hidrología de Paraguay (DINAC) cuya información se encuentra disponible en la página WEB, www.pilcomayo.net

Se han comparado los registros de precipitación, lecturas de escala, aforos líquidos y derrames del año hidrológico 2017-2018, con sus simulares de los años hidrológicos 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, que comprende desde 01 de agosto al 31 de julio de cada año.

Se han representado con los registros de lluvia la precipitación mensual acumulada en las siguientes estaciones:

- Talula (SENAMHI – Bolivia)
- Viña Quemada (SENAMHI – Bolivia)
- Potosí Aeropuerto (SENAMHI – Bolivia)
- Palca Grande (SENAMHI-Bolivia)
- El Puente (SENAMHI-Bolivia)
- Puente Aruma (SENAMHI – Bolivia)
- Villa Montes estación de Bombeo (SENAMHI – Bolivia)
- Yacuiba Aeropuerto (SENAMHI – Bolivia)
- Misión La Paz (SIPH – Evarsa – Argentina)
- Tartagal (SMN-Argentina)
- Mariscal Estigarribia (DINAC-Paraguay)
- Pozo Colorado (DINAC-Paraguay)
- General Bruguez (DINAC-Paraguay)
- Asunción Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi (DINAC- Paraguay)

Figura Nº 1: Mapa cuenca estaciones de monitoreo

PLUVIOMETRÍA

Tabla Nº 1: Precipitación normal y anuales, estaciones cuenca río Pilcomayo (mm)

Estación	Año Hidrológico	Acumulado Anual (mm)
Talula normal (1)		**599.80**
Talula	2013-2014	613.40
Talula	2014-2015	772.80
Talula	2015-2016	623.00
Talula	2016-2017	537.00
Talula	2017-2018	689.60
Viña Quemada normal (1)		**462.20**
Viña Quemada	2013-2014	396.00
Viña Quemada	2014-2015	568.60
Viña Quemada	2015-2016	397.00
Viña Quemada	2016-2017	370.30
Viña Quemada	2017-2018	292.50
Potosí Aeropuerto normal(1)		**343.30**
Potosí Ciudad	2013-2014	459.50
Potosí Ciudad	2014-2015	400.60
Potosí Ciudad	2015-2016	252.50
Potosí Ciudad	2016-2017	407.10
Potosí-Ciudad	2017-2018	337.10
Palca Grande normal(1)		**334.80**
Palca Grande	2013-2014	324.00
Palca Grande	2014-2015	231.70
Palca Grande	2015-2016	140.50
Palca Grande	2016-2017	159.10
Palca Grande	2017-2018	316.00
El Puente normal(1)		**307.90**
El Puente	2013-2014	332.80
El Puente	2014-2015	449.10
El Puente	2015-2016	196.60
El Puente	2016-2017	198.30
El Puente	2017-2018	315.90
Villa Montes (bombeo) normal(1)		**882.00**
Villa Montes (bombeo)	2013-2014	816.30
Villa Montes (bombeo)	2014-2015	1118.60
Villa Montes (bombeo)	2015-2016	627.10
Villa Montes (bombeo)	2016-2017	1080.20
Villa Montes (bombeo)	2017-2018	1201.60
Yacuiba Aeropuerto normal(2)		
Yacuiba Aeropuerto	2013-2014	1427.10
Yacuiba Aeropuerto	2014-2015	1188.60
Yacuiba Aeropuerto	2015-2016	692.90
Yacuiba Aeropuerto	2016-2017	1106.40
Yacuiba Aeropuerto	2017-2018	1433.90

Misión La Paz normal[3]		**771.60**
Misión La Paz	2013-2014	748.10
Misión La Paz	2014-2015	777.50
Misión La Paz	2015-2016	415.00
Misión La Paz	2016-2017	735.00
Misión La Paz	2017-2018	1034.30
Tartagal[4]		**1019.79**
Tartagal	2013-2014	1080.70
Tartagal	2014-2015	1068.30
Tartagal	2015-2016	685.60
Tartagal	2016-2017	774.60
Tartagal	2017-2018	878.60
Mariscal Estigarribia normal[5]		**824.10**
Mcal. Estigarribia	2013-2014	1086.40
Mcal. Estigarribia	2014-2015	707.50
Mcal. Estigarribia	2015-2016	566.30
Mcal. Estigarribia	2016-2017	778.70
Mcal. Estigarribia	2017-2018	716.80
Pozo Colorado [5]		**1133.80**
Pozo Colorado	2013-2014	1363.70
Pozo Colorado	2014-2015	1188.50
Pozo Colorado	2015-2016	1253.20
Pozo Colorado	2016-2017	1422.20
Pozo Colorado	2017-2018	1172.30
General Bruguez [6]		**1241.10**
Gral. Bruguez	2013-2014	1662.90
Gral. Bruguez	2014-2015	1292.10
Gral. Bruguez	2015-2016	1489.60
Gral. Bruguez	2016-2017	1680.30
Gral. Bruguez	2017-2018	1232.50
Asunción Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi normal[5]		**1406.90**
Asunción AI SP	2013-2014	1811.90
Asunción AI SP	2014-2015	1929.70
Asunción AI SP	2015-2016	1666.00
Asunción AI SP	2016-2017	1350.60
Asunción AI SP	2017-2018	1442.70

[1]Valores calculados por SENAMHI (2008)
[2] Valor promedio con 10 años de datos
[3]Valores calculados por EVARSA
[4]Valores calculados por SMN
[5]Valor calculado (DINAC) (período 1971-2000)
[6]Valor calculado (DINAC) (período 1992-2000)

A continuación se presentan gráficos donde se comparan las precipitaciones normales y/o promedios, años hidrológicos 2016-2017 y 2017-2018 de las diferentes estaciones.

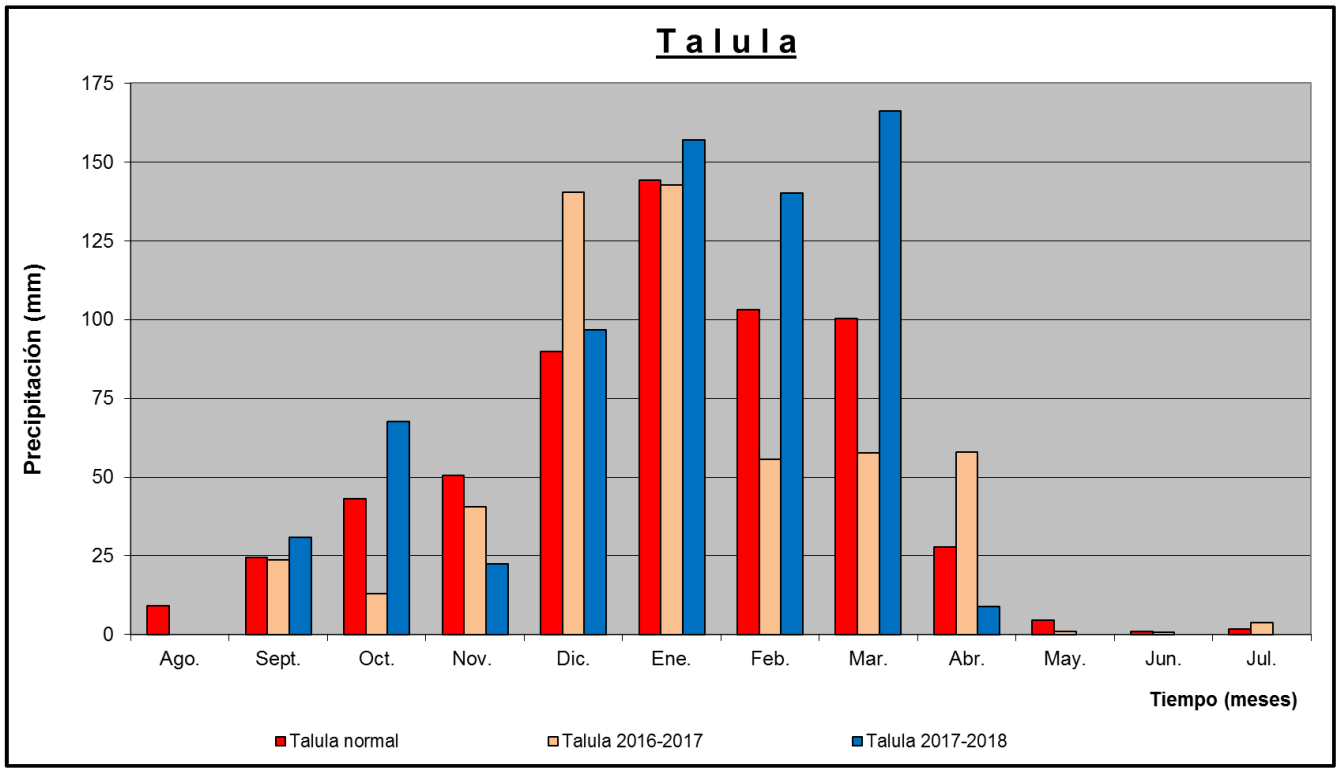


Figura Nº 2: Precipitaciones (mm), Talula

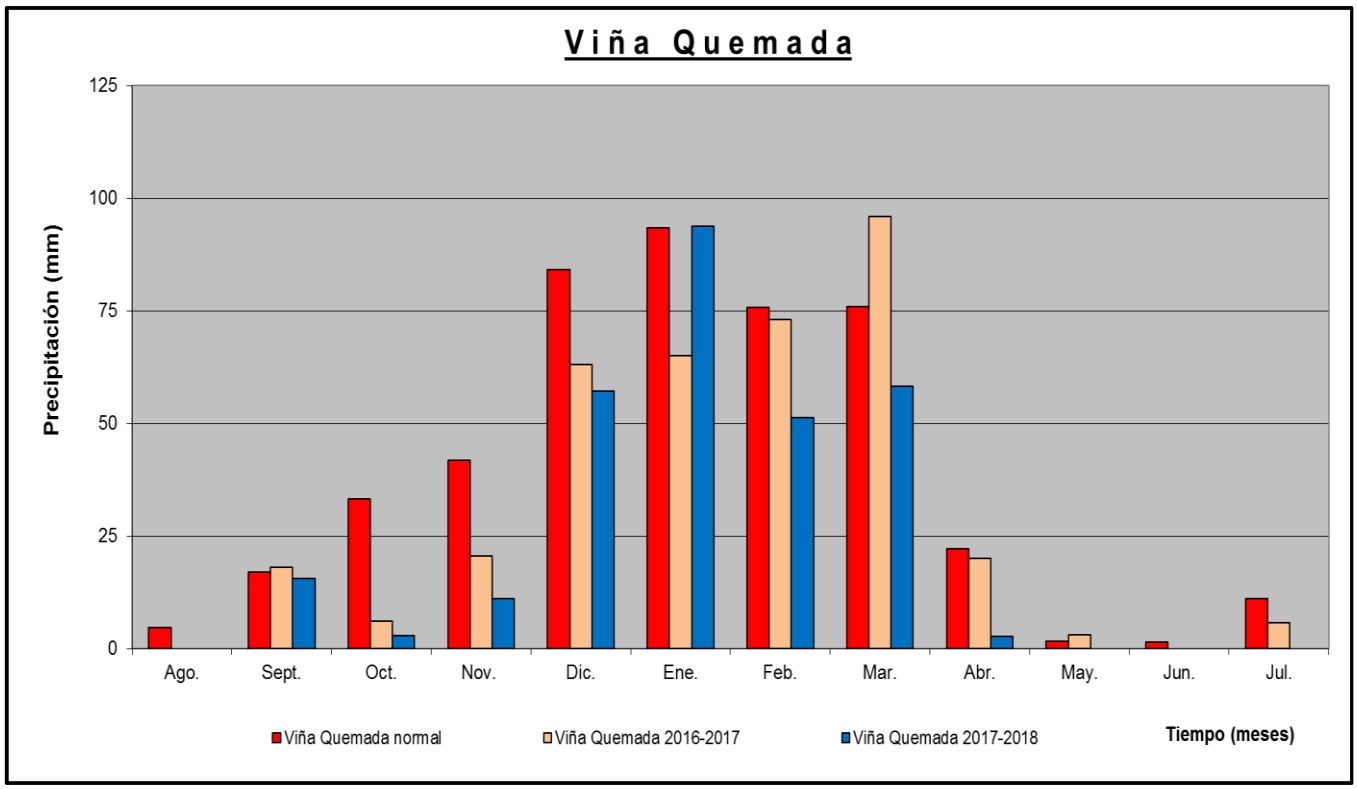


Figura Nº 3: Precipitaciones (mm), Viña Quemada

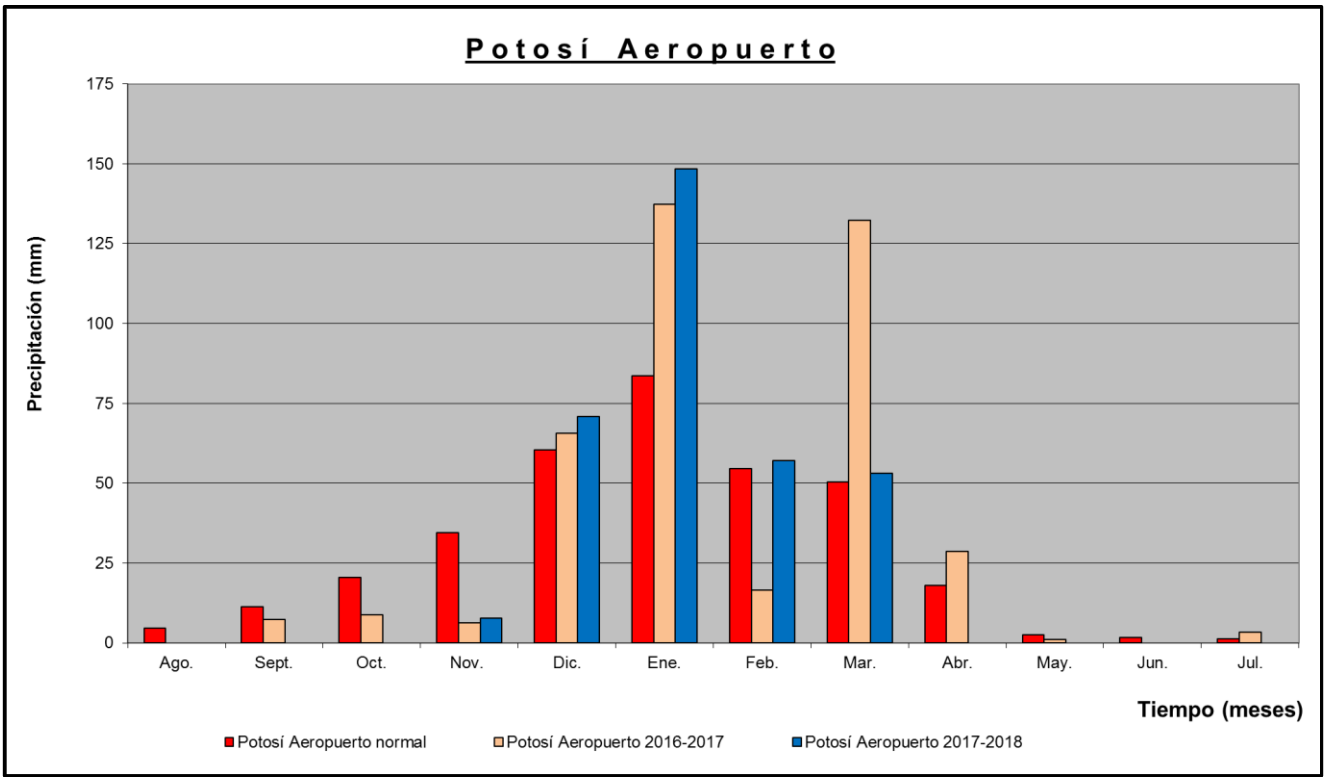


Figura Nº 4: Precipitaciones (mm), Potosí Aeropuerto

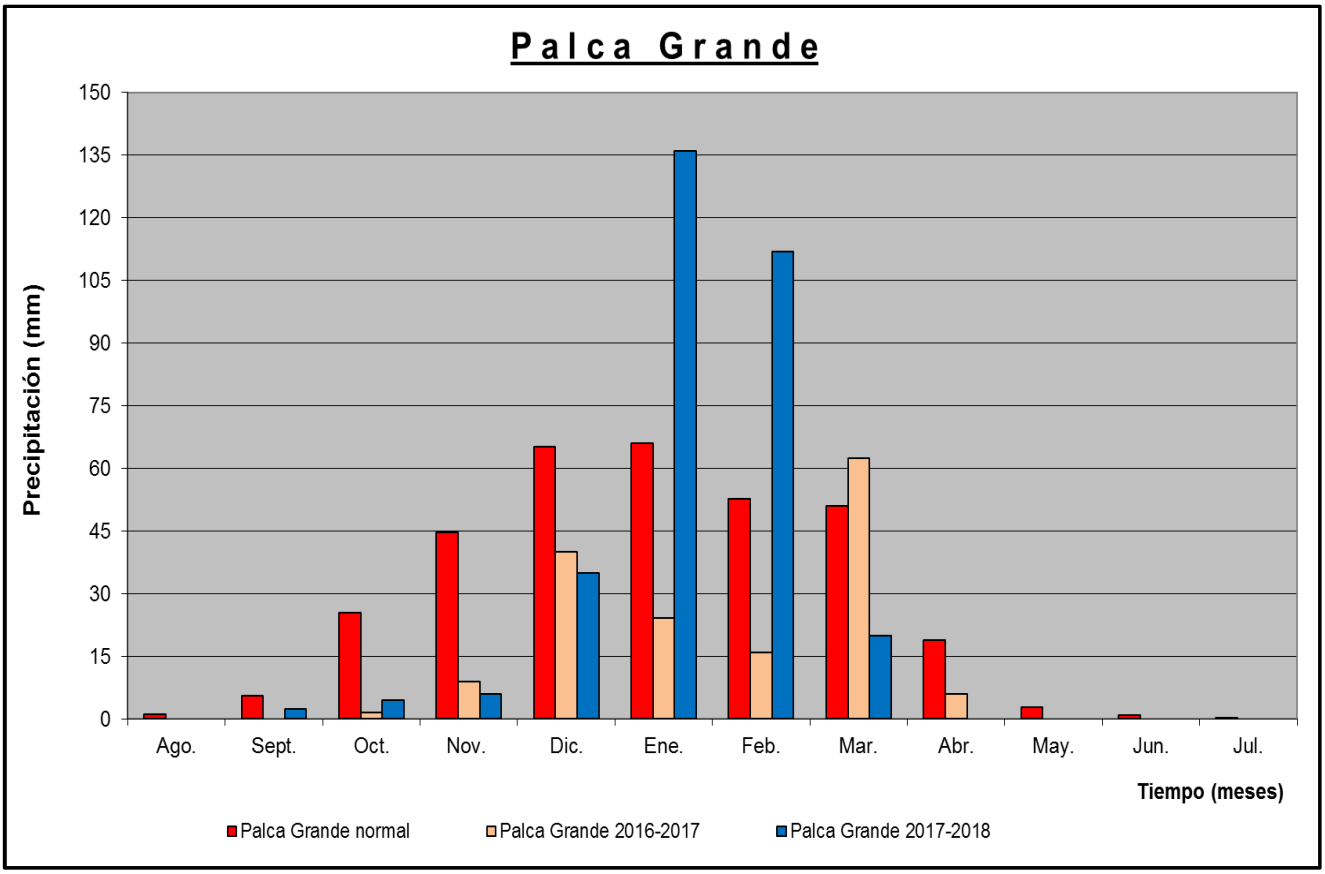


Figura Nº 5: Precipitaciones (mm), Palca Grande

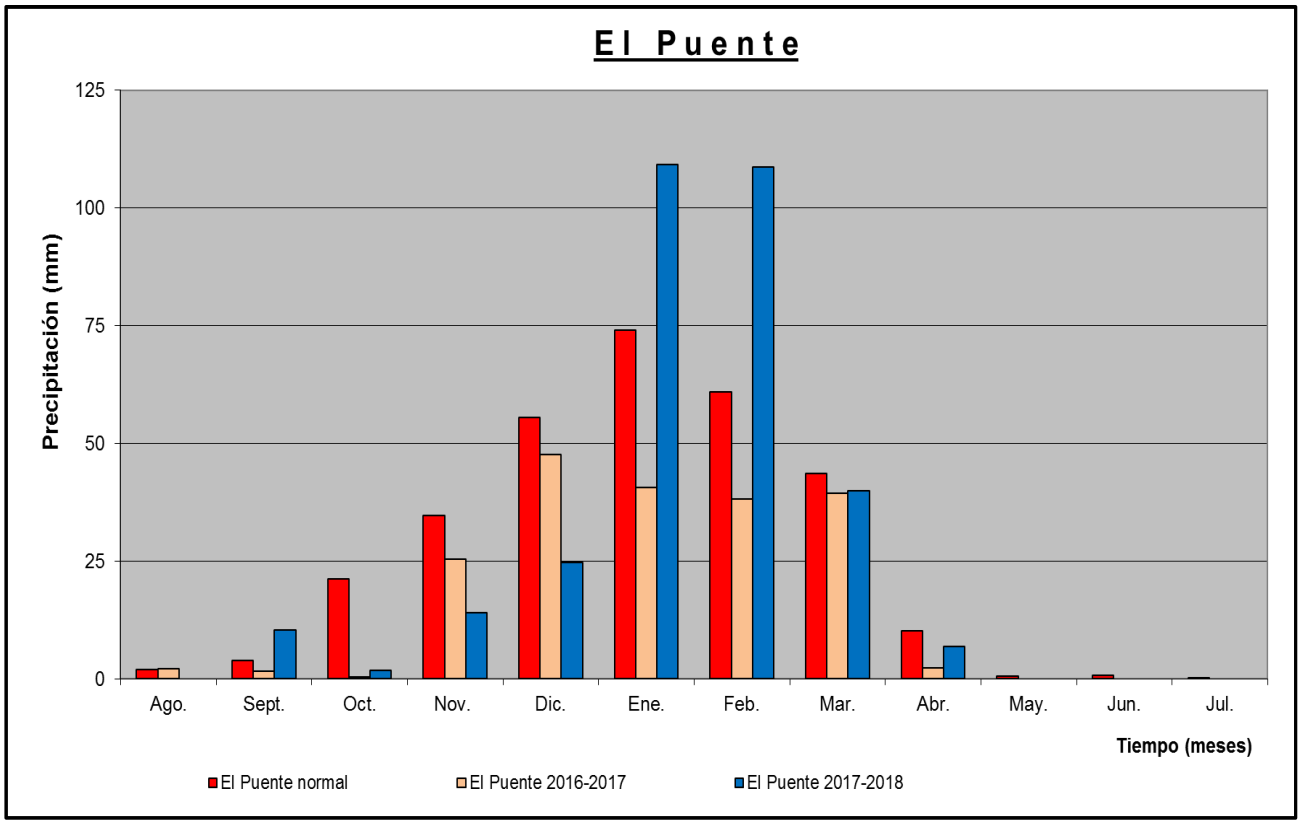


Figura Nº 6: Precipitaciones (mm), El Puente

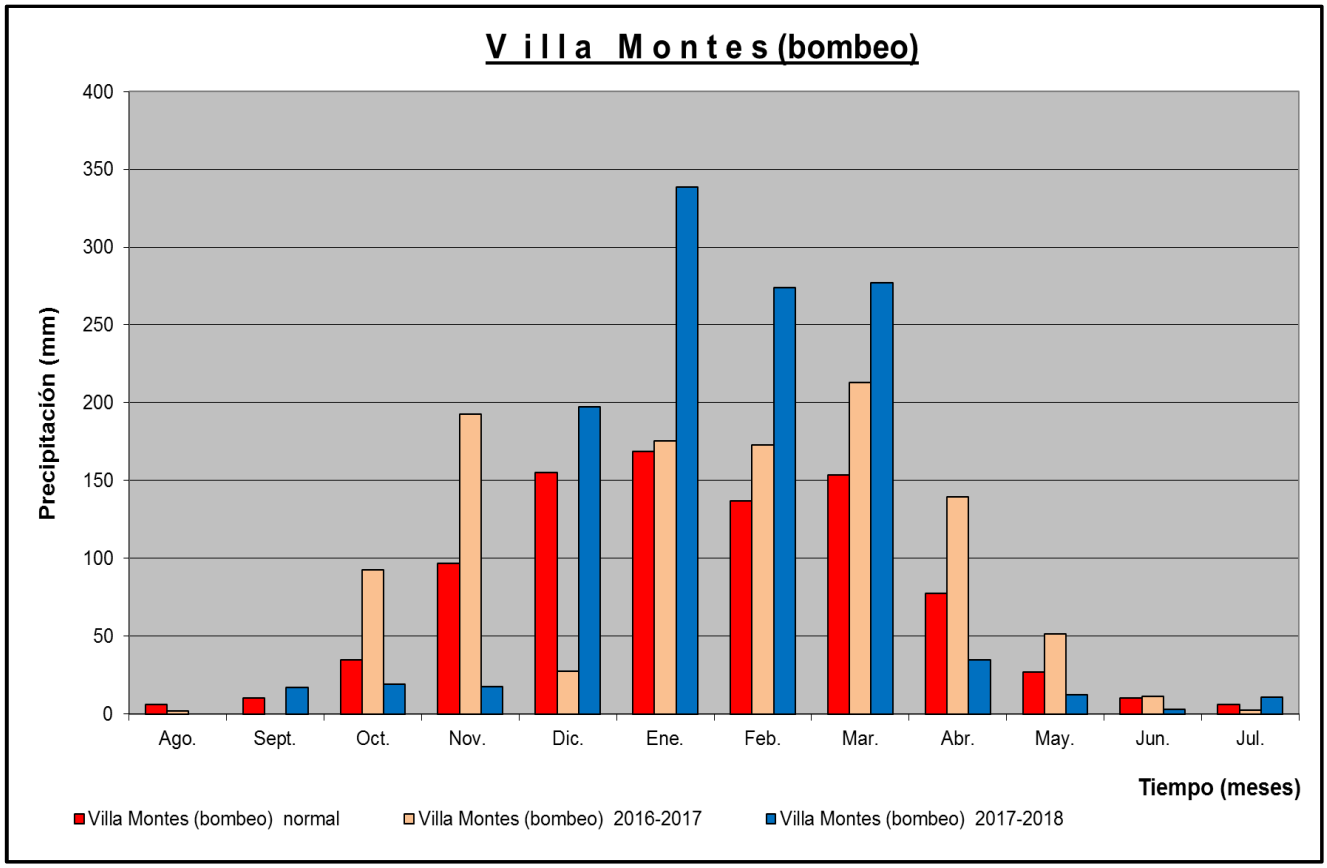


Figura Nº 7: Precipitaciones (mm), Villa Montes (bombeo)

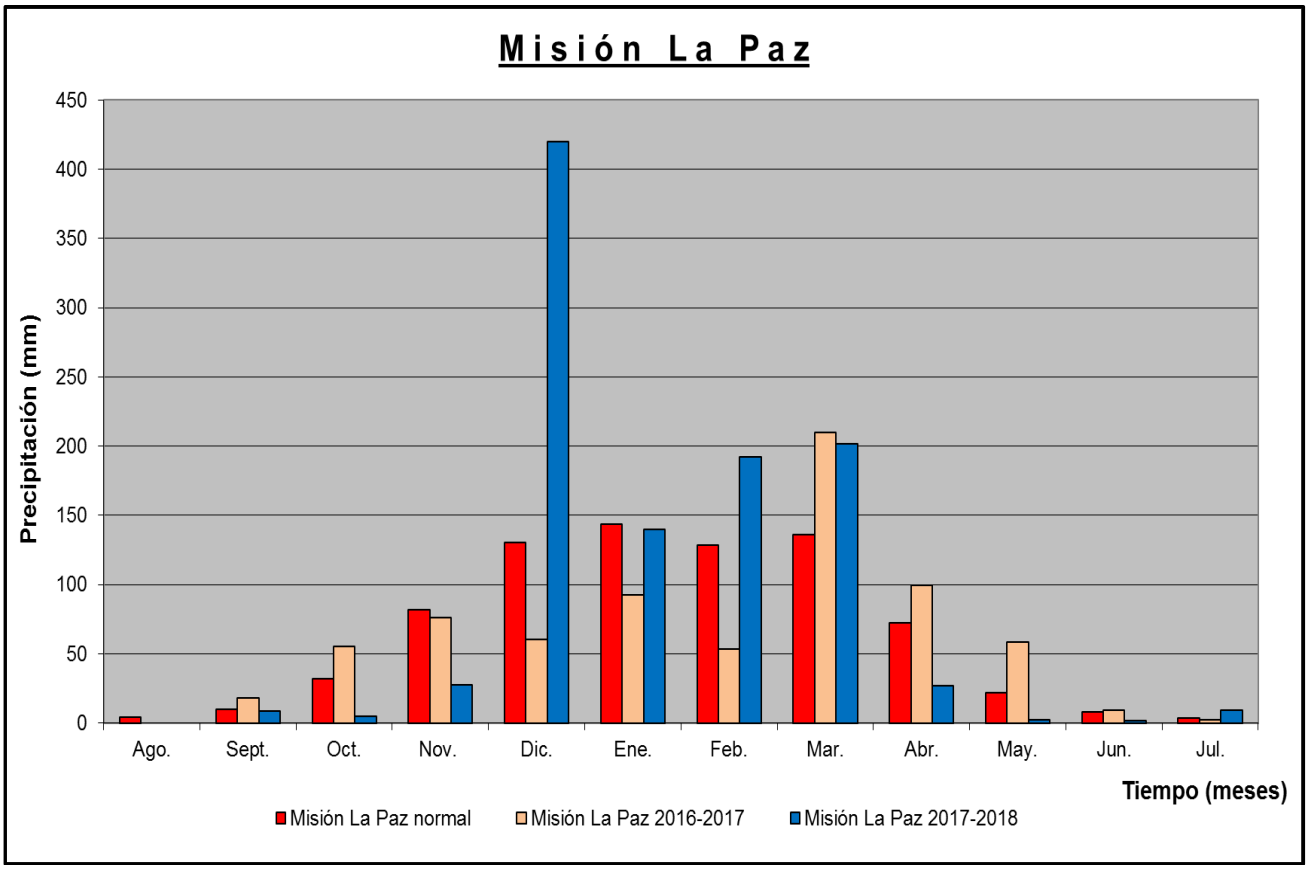


Figura Nº 8: Precipitaciones (mm), Misión La Paz

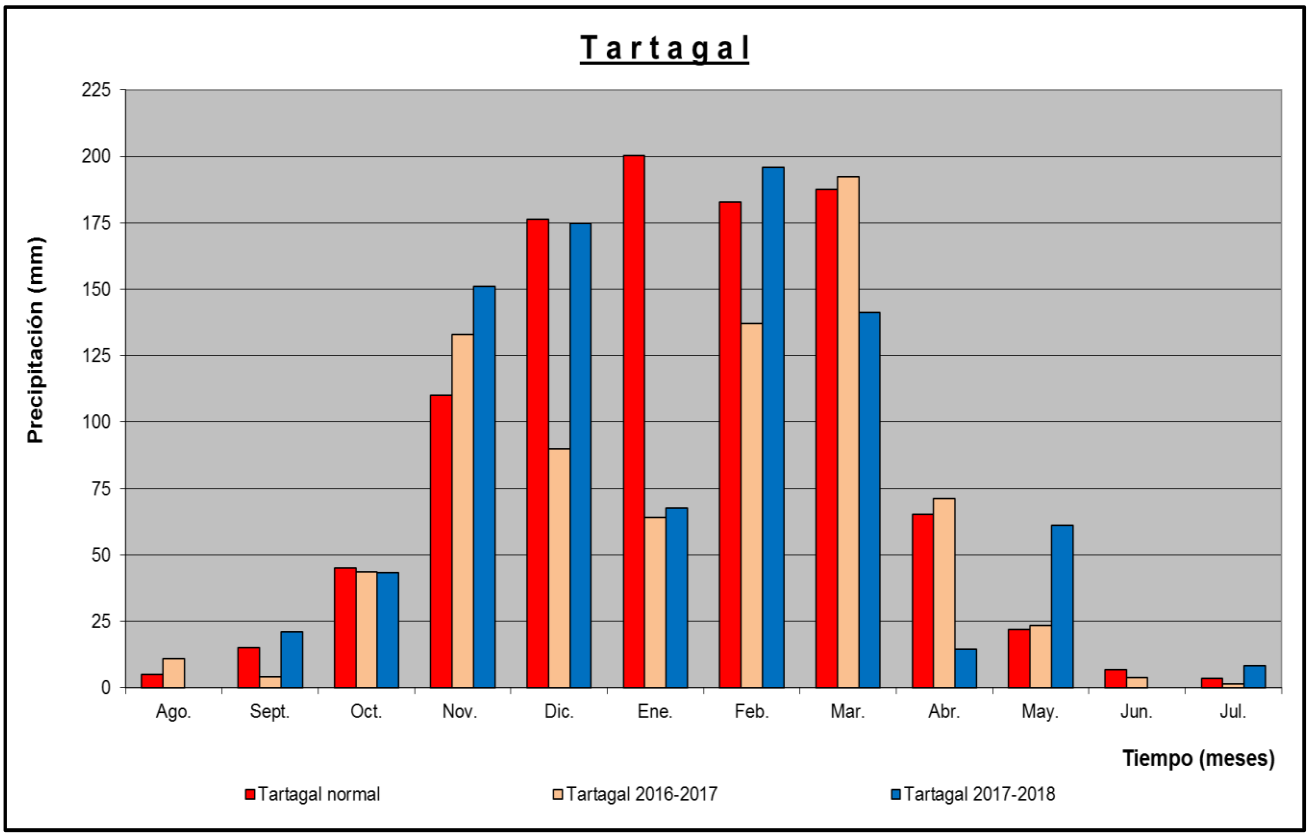


Figura Nº 9: Precipitaciones (mm), Tartagal

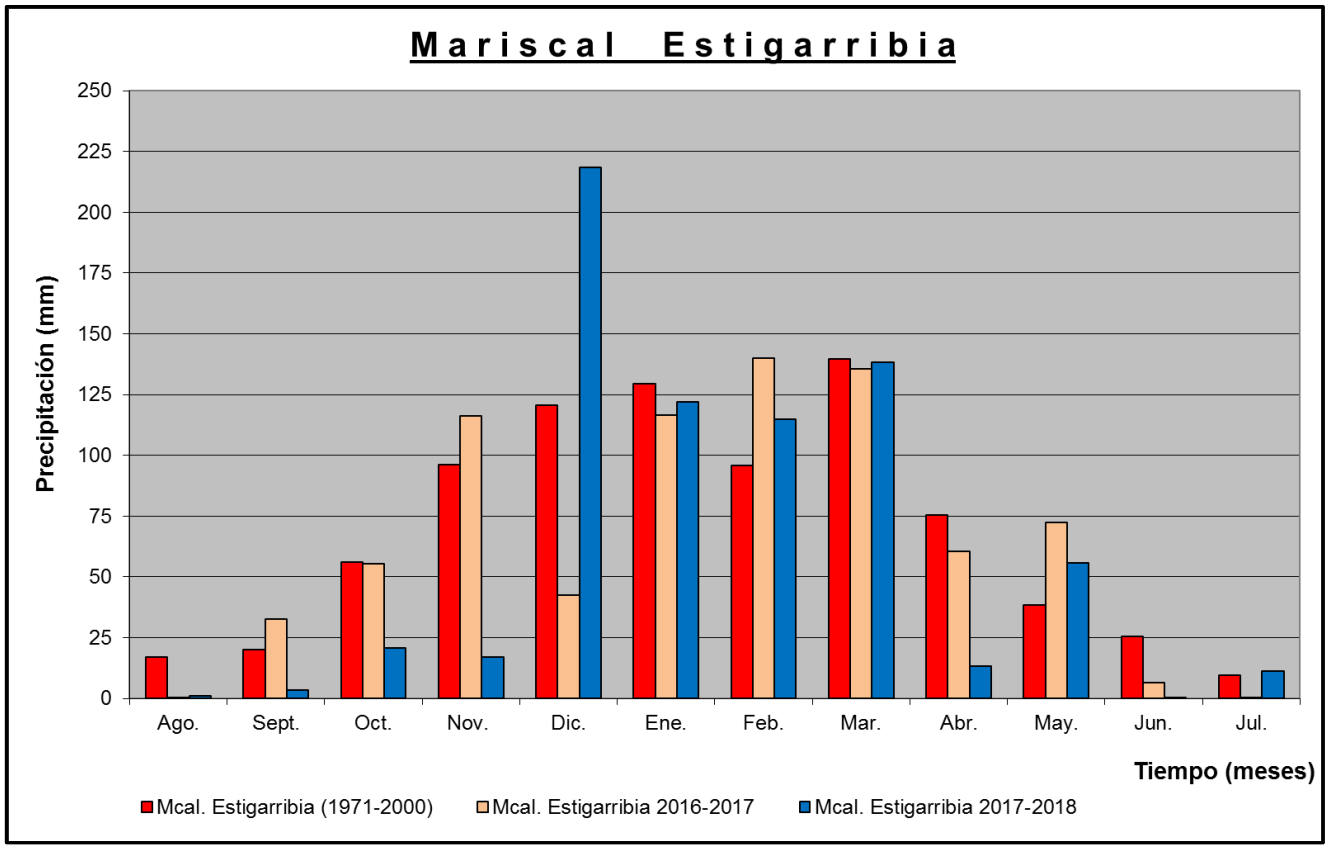


Figura Nº 10: Precipitaciones (mm), Mariscal Estigarribia

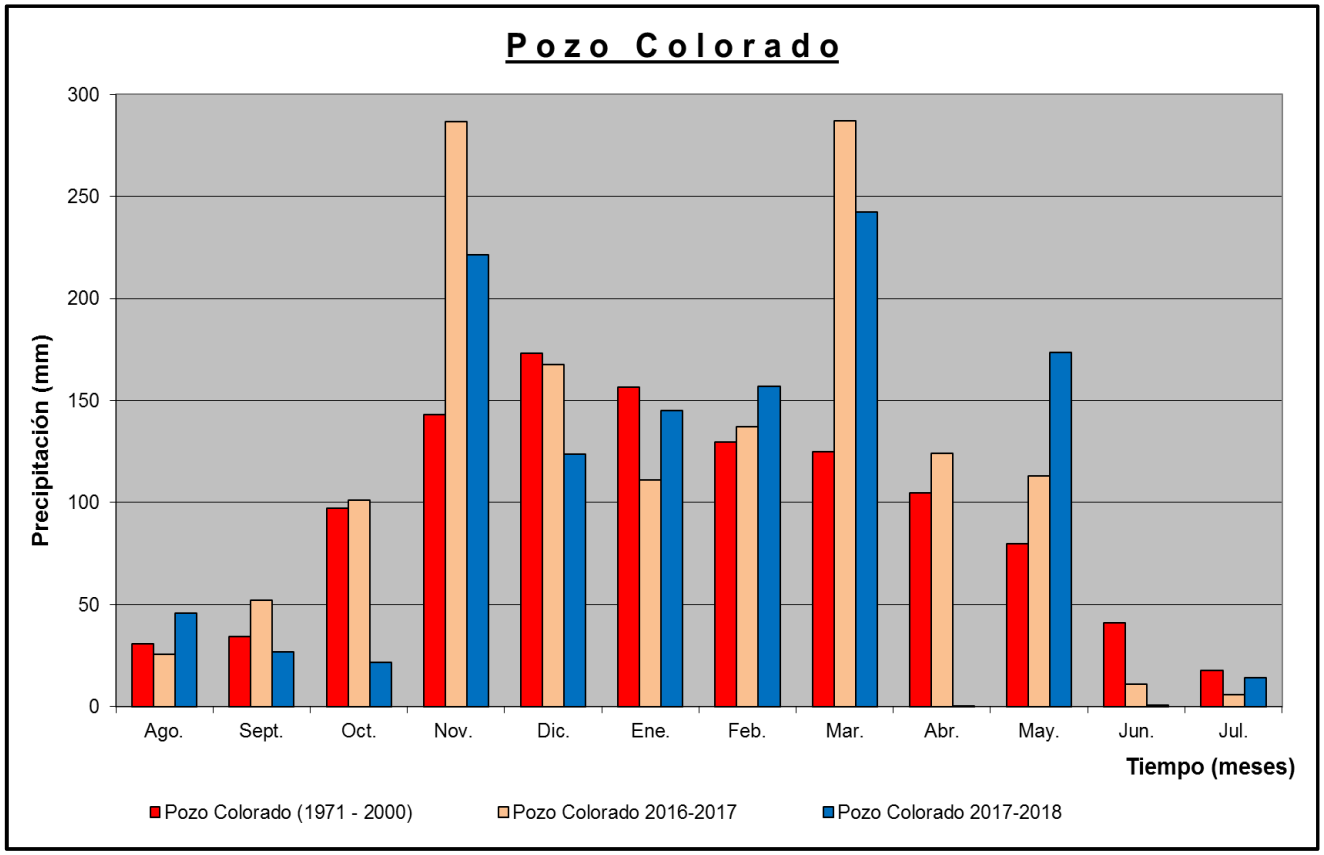


Figura Nº 11: Precipitaciones (mm), Pozo Colorado

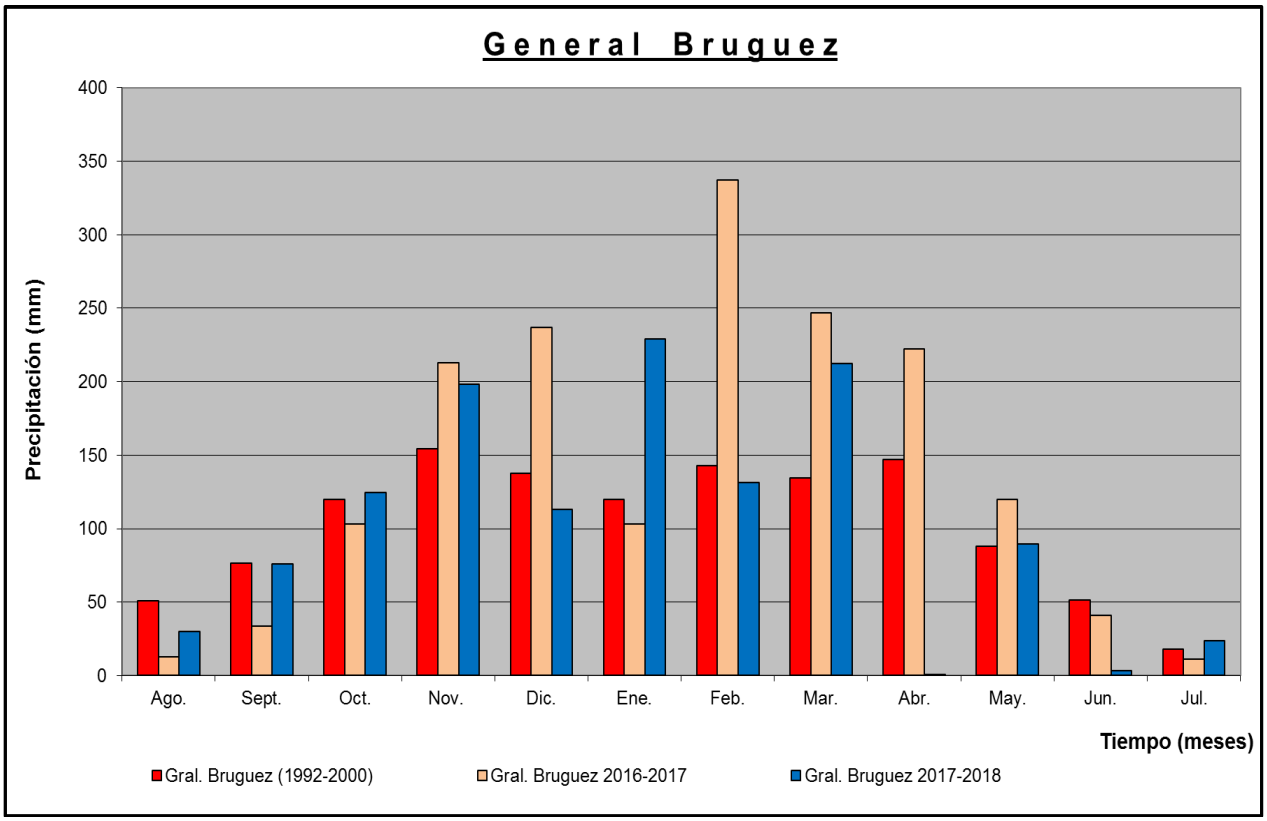


Figura Nº 12: Precipitaciones (mm), General Bruguez

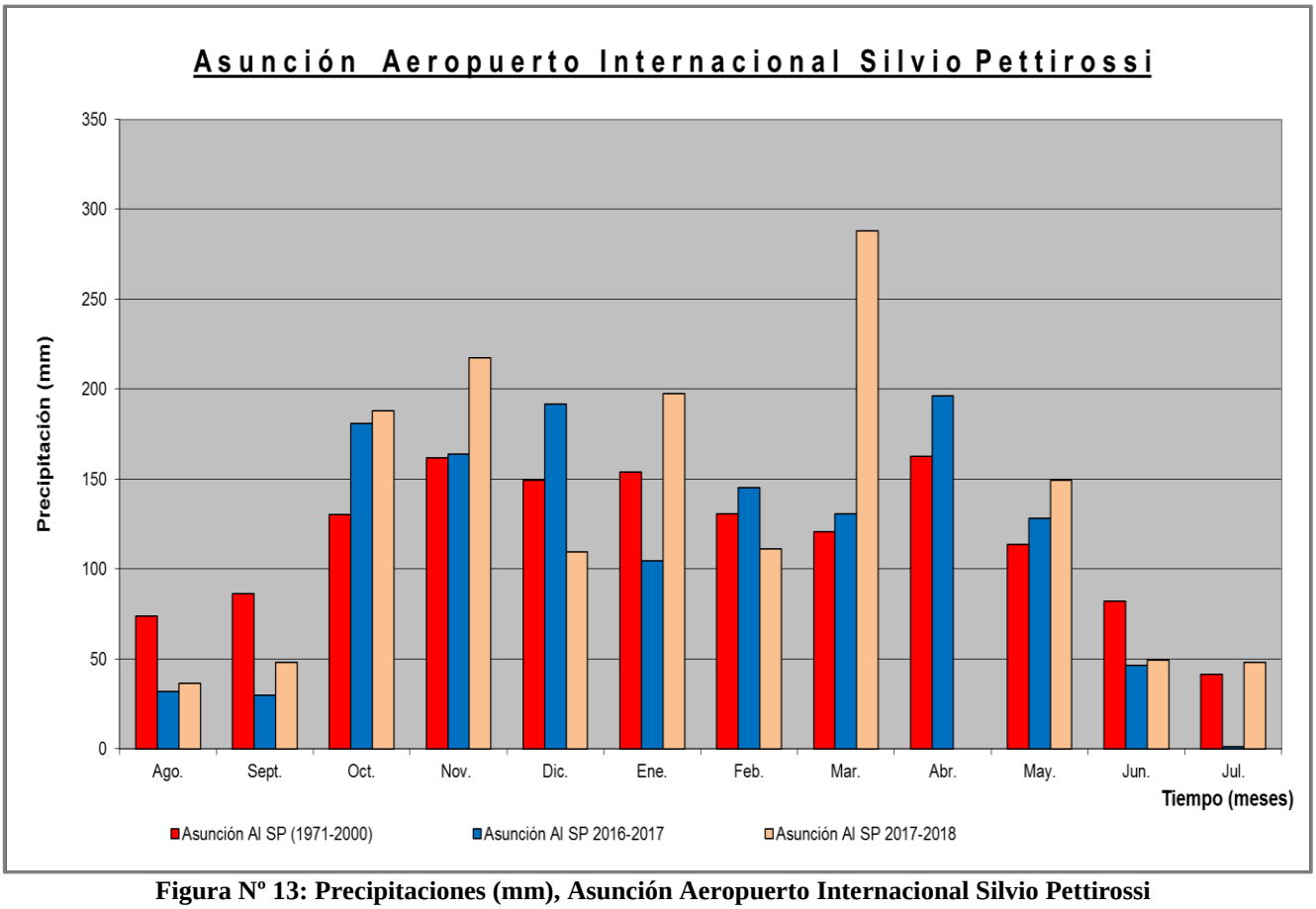


Figura Nº 13: Precipitaciones (mm), Asunción Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi

Como se observa en la Tabla Nº 1 y en las figuras en las estaciones Talula y El Puente (cuenca alta), se registraron en el año hidrológico 2017-2018 precipitaciones por encima de la normal variando entre ***3%*** *y* ***15%.***

En el caso de la estaciones Viña Quemada, Potosí Aeropuerto y Palca Grande (cuenca alta), se registraron, para el año hidrológico 2017-2018, precipitaciones por debajo de la normal variando entre ***2% y 37%.***

En las estaciones Talula, Palca Grande y El Puente, las precipitaciones registradas para el período 2017-2018, se encontraron por encima de las del período 2016-2017, variando entre ***28%*** *y* ***99%.*** *Caso contrario ocurrió en las estaciones Viña Quemada y Potosí Aeropuerto, donde los registros para el período 2017-2018, se encontraron por debajo respecto del año hidrológio anterior, variando entre* ***17%*** *y* ***21%.***

De igual forma, las precipitaciones en las estaciones de Villa Montes (bombeo) y Misión La Paz, fueron superiores en el año hidrológico 2017-2018 respecto del año hidrológico anterior en un ***11%*** *en Villa Montes (bombeo) y en un* ***41%*** *en Misión La Paz. Asimismo, en dichas estaciones las precipitaciiones para el año hidrológico 2017-2018 fueron superiores en* ***36%*** *y* ***34%*** *respecto de la normal, respectivamente.*

Las precipitaciones registradas para el año hidrológico 2017 – 2018 en las estaciones ubicadas en territorio paraguayo Pozo Colorado y Asunción Aeropuerto Internacional Silvio Pettirosi fueron superiores respecto de las calculadas para el período 1971-2000, en un ***3%*** *para ambas estaciones. En cambio, en las estaciones de Mariscal Estigarribia y General Bruguez las precipitaciones registradas para el año hidrológico 2017-2018 estuvieron por debajo entre* ***13%*** *y* ***1%*** *de las precipitaciones calculadas para los períodos 1971-2000 y 1992 – 2000 respectivamente.*

Solamente en la estación Asunción Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi se registró un ***7%*** *más de precipitaciones para el año hidrológico 2017-2018 respecto del año hidrológico anterior.*

En las demás estaciones del territorio paraguayo, los valores del año hidrológico 2017-2018, estuvieron por debajo de lo registrado para el año hidrológico anterior, variando entre ***8%*** *a* ***27%.***

Se ha analizado los cuatrimestres más lluviosos en la cuenca alta (diciembre – enero – febrero – marzo) para los años hidrológicos estudiados y se ha calculado la precipitación media de la cuenca para cada uno de esos años por el método de Thiessen.

Los resultados obtenidos son los que se muestran en la Tabla Nº 2.

Tabla Nº 2: precipitación media cuenca

	Talula	Viña Quemada	Potosí Aeropuerto	Palca Grande	El Puente	Villa Montes (bombeo)	Yacuiba Aeropuerto	Misión La Paz	precip media cuenca
2013-2014	472,7	257,2	383,1	288	270,8	447	1137,1	530,5	347,35
2014-2015	462,6	256,1	262,6	173	304,7	747,9	581	515	360,89
2015-2016	334,4	230	171,7	109	133,9	432,9	532,1	237	211,50
2016-2017	396,2	297	351,8	142,6	166,2	588,8	526,4	416,5	298,44
2017-2018	559,8	260,3	329,3	303	282,7	1087,1	1097	953,5	472,68

Como se observa en la Tabla Nº 2, la precipitación media sobre la cuenca alta en el cuatrimestre diciembre – enero – febrero – marzo ha sido mayor en el año hidrológico 2017-2018, lo que originó el mayor volumen de agua que escurrió hacia la cuenca baja en dicho año.

FRECUENCIAS

Se realizó el análisis de frecuencia de las precipitaciones registradas en el año hidrológico 2017-2018 con los datos históricos con que se cuenta en la Base de Datos. Los resultados se muestran en las en la Tabla Nº 3 y en las curvas siguientes:

Tabla Nº 3: frecuencia de precipitaciones

Estación	% datos superiores a 2017-2018	Cantidad de años hidrológicos
Talula	28%	43 (1975-2018)
Viña Quemada	85%	13 (2005-2018)
Potosí Aeropuerto	53%	17 (2001-2018)
Palca Grande	43%	7 (2009-2010/ 2012-2018)
El Puente	67%	6 (2012-2018)
Villa Montes	**Mayor registro**	**9** (2009-2018)
Yacuiba	**Mayor registro**	**10** (2008-2018)
Misión La Paz	6%	53 (1965-2018)
Tartagal	54%	57 (1956-1957/1961-1969/1970-2018)
Mariscal Estigarribia	67%	64 (1950-1955/1957-1966/1968-2018)
Pozo Colorado	43%	30 (1971-1976/1984-1986/1990-1992/1995-2008/2010-2018)
General Bruguez	46%	26 (1992-2018)
Asunción Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi	38%	50 (1960-1961/1966-1969/1972-2018)

Como se observa en la Tabla Nº 3 para el caso de las estaciones Villa Montes y Yacuiba, el registro de precipitaciones del año 2017-2018 fue el mayor de la serie de datos históricos disponible.

Se aclara que los añós hidrológicos en algunos casos no son consecutivos. Sólo se consideraron precipitaciones para años hidrológicos completos.

La precipitación total anual (gráficos), hace referencia al total por cada año hidrológico analizado, para todas las estaciones.

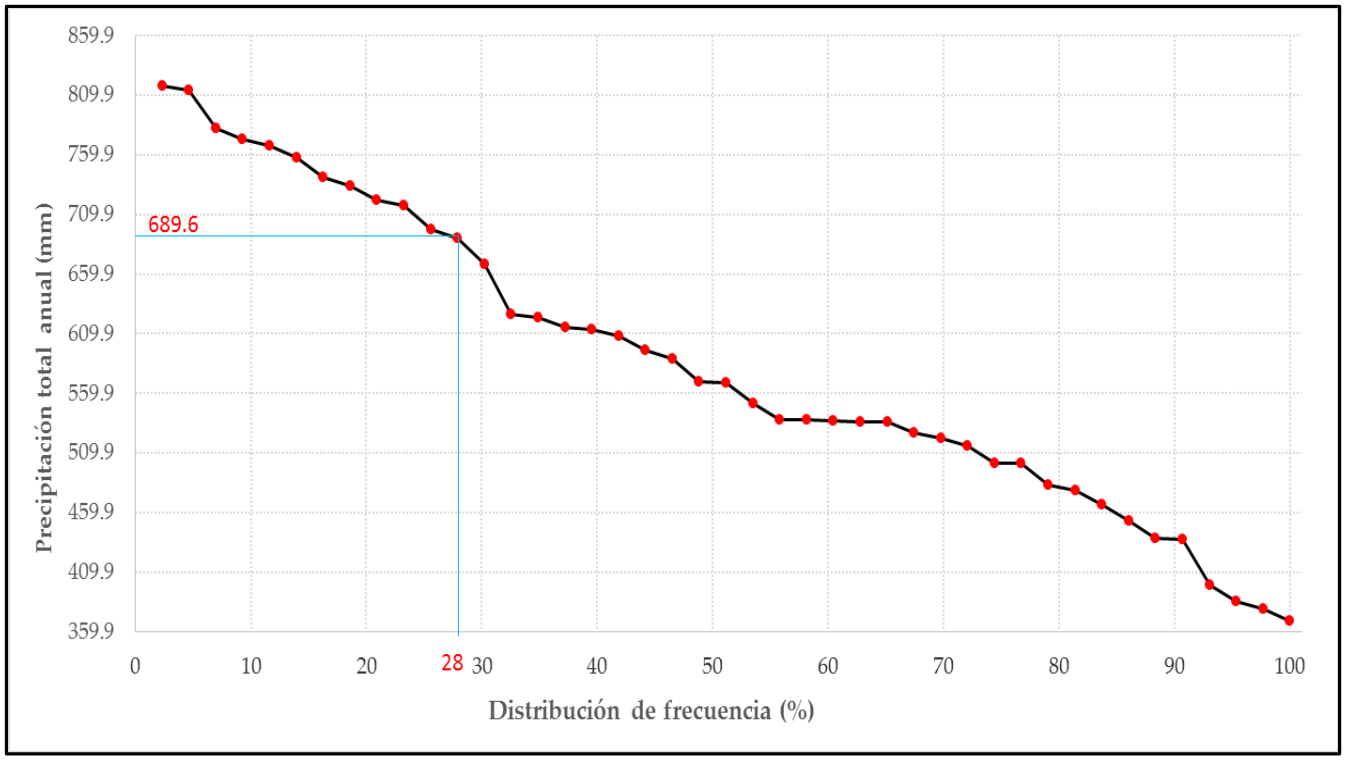


Figura Nº 14: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Talula (precipitación total 2017-2018, 689.60mm)

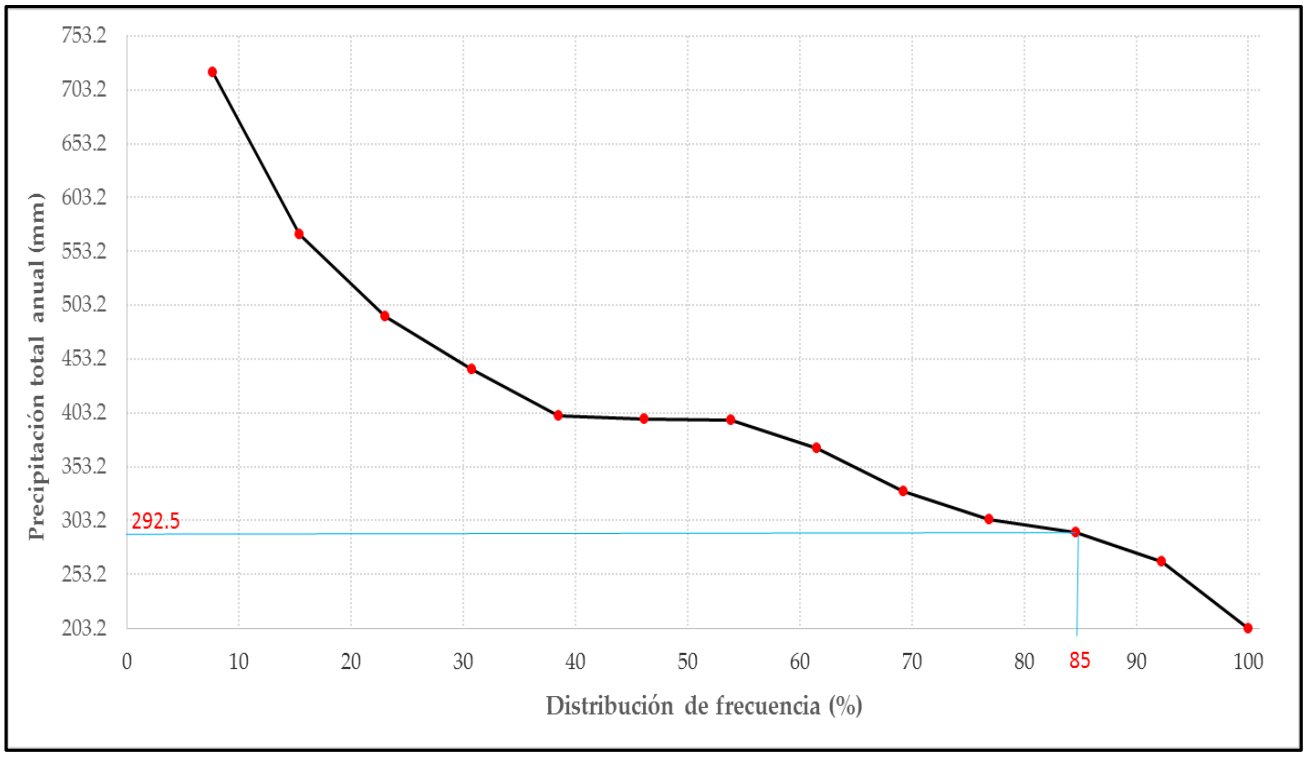


Figura Nº 15: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Viña Quemada (precipitación total 2017-2018, 292.50mm)

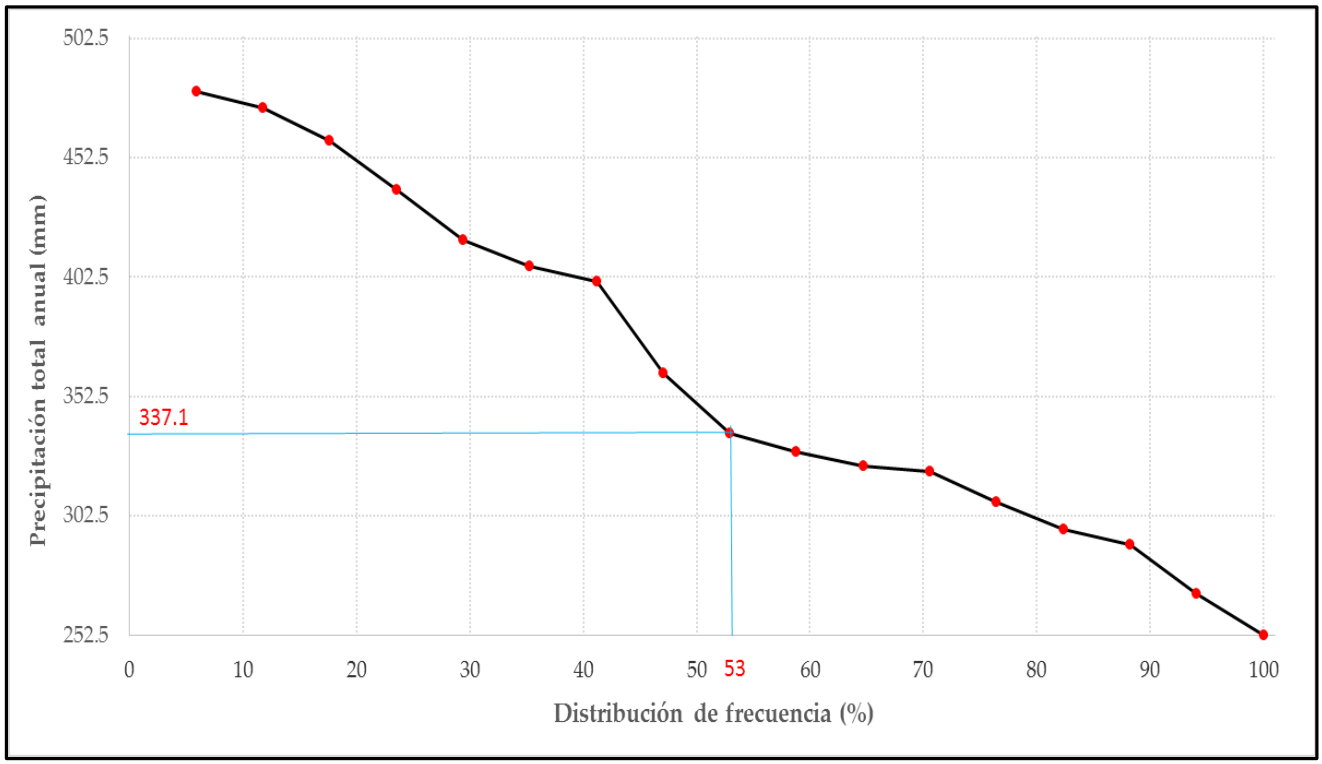


Figura Nº 16: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Potosí Aeropuerto (precipitación total 2017-2018, 337.10mm)

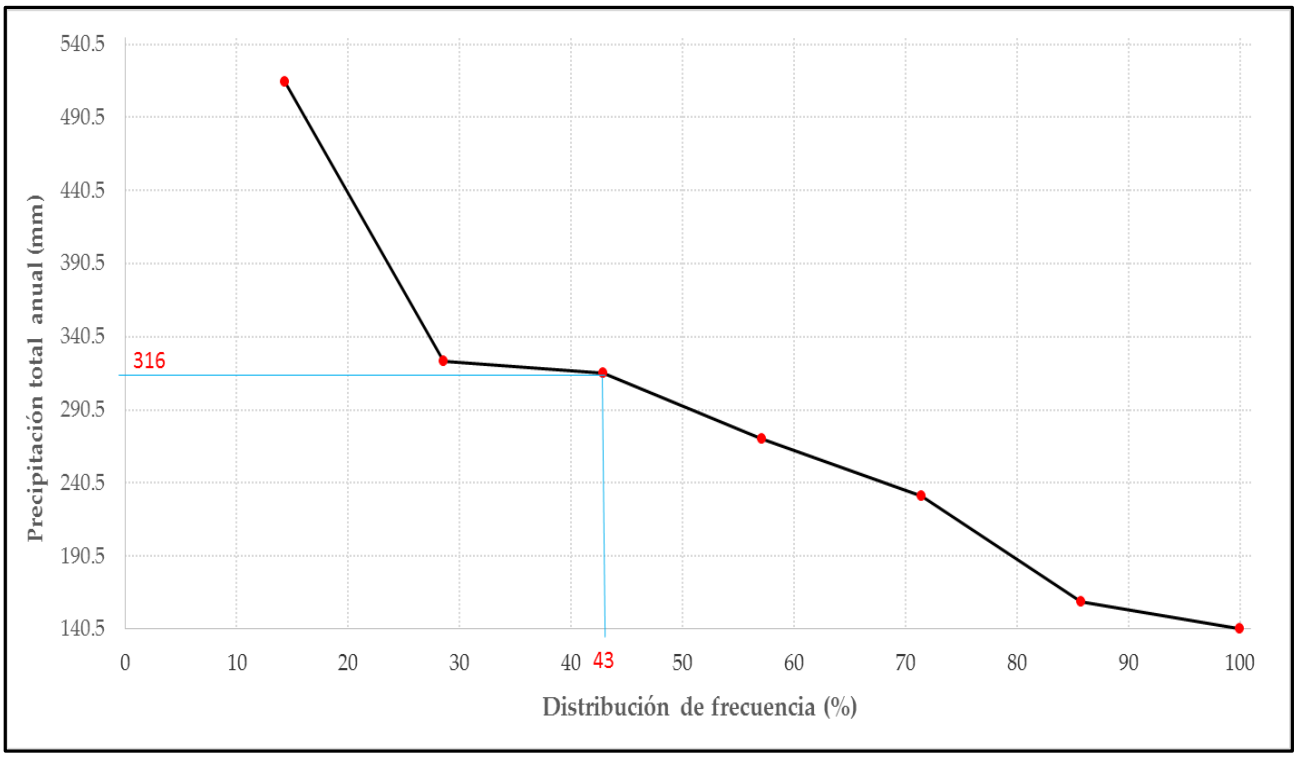


Figura Nº 17: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Palca Grande (precipitación total 2017-2018, 316m)

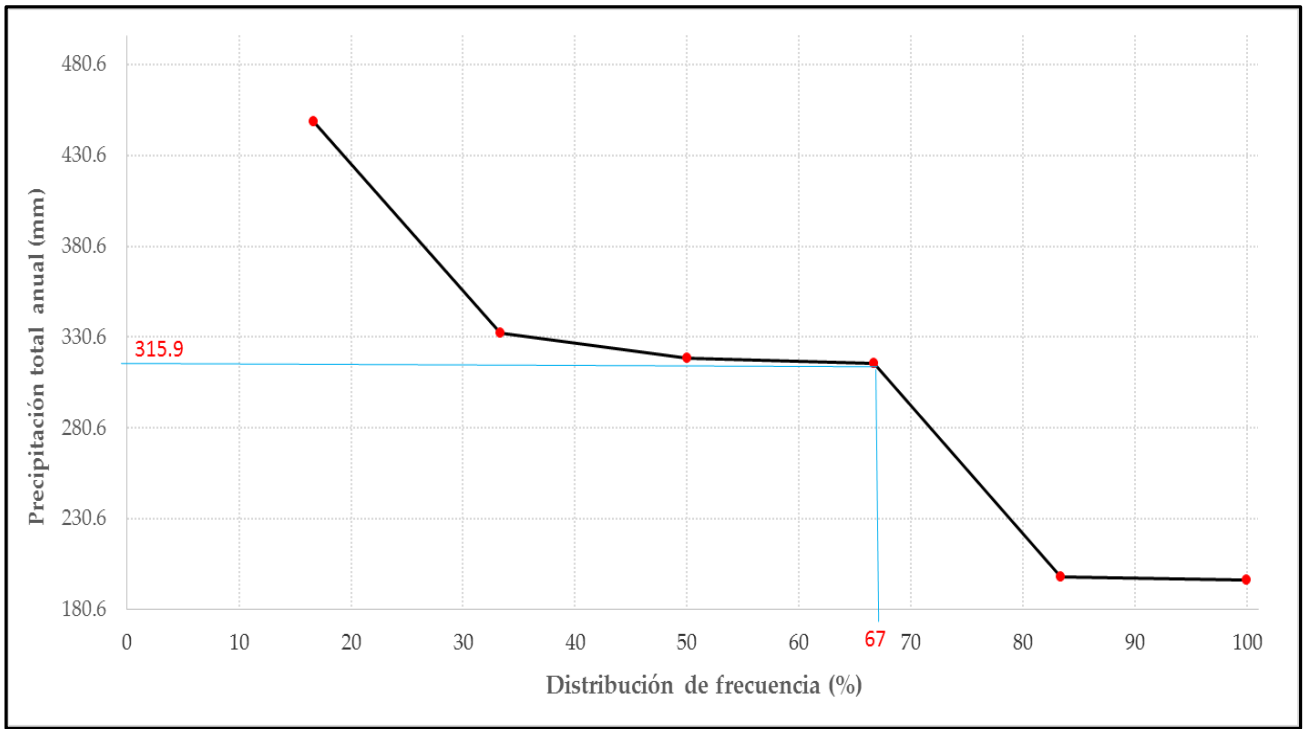


Figura Nº 18: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, El Puente (precipitación total 2017-2018, 315.90m)

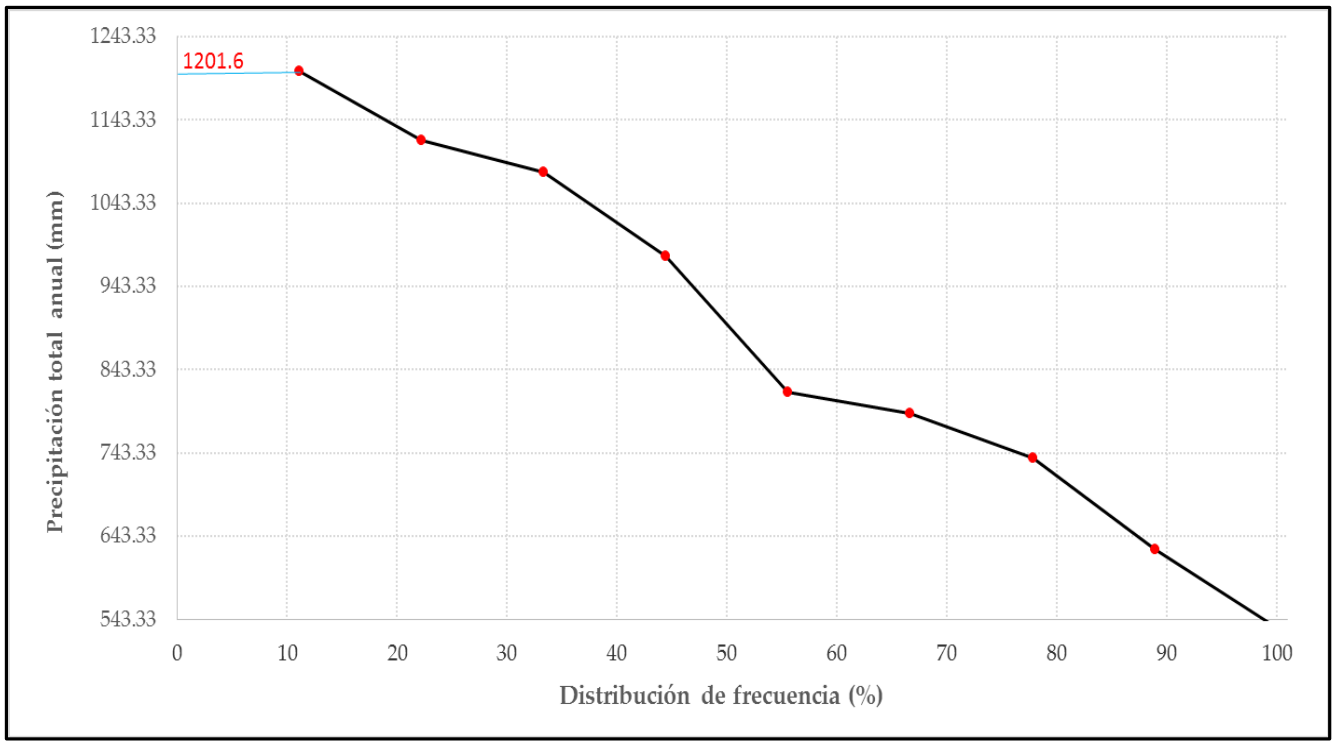


Figura Nº 19: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Villa Montes (precipitación total 2017-2018, 1201.60mm)

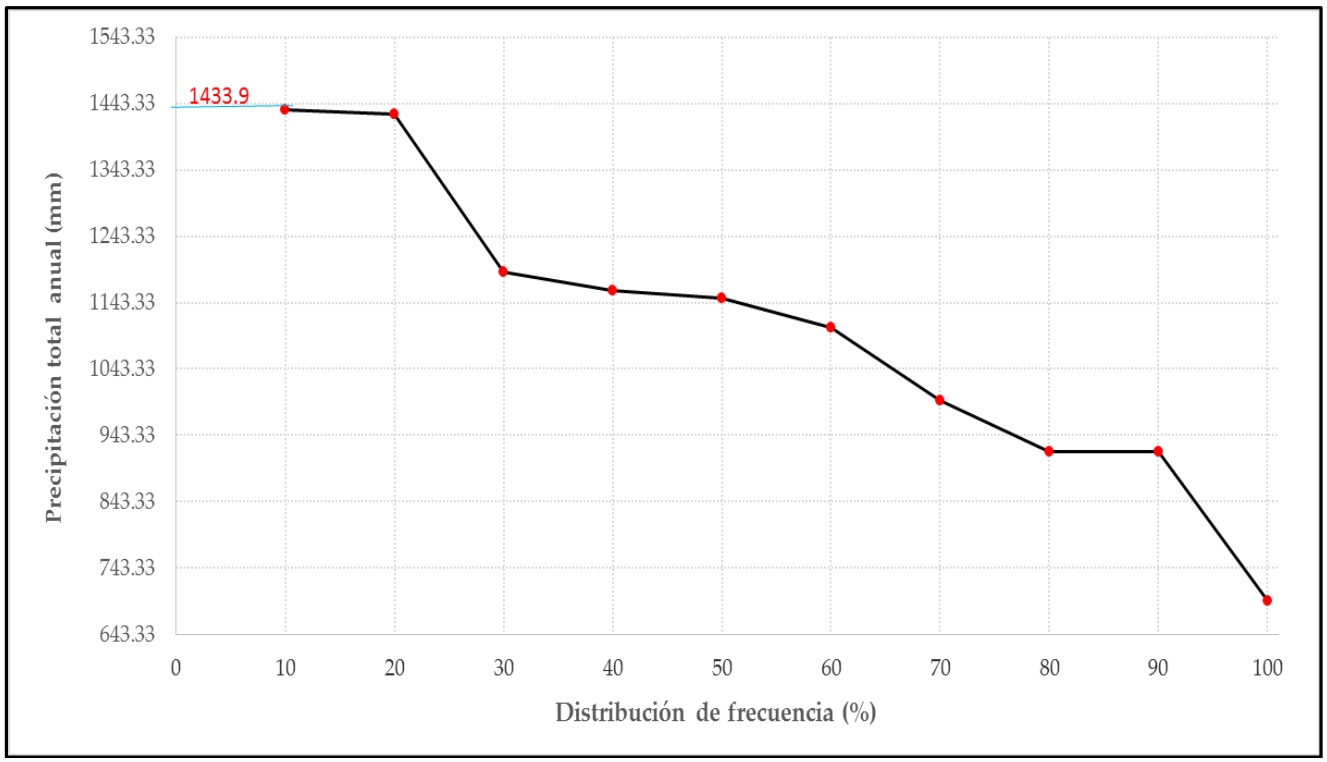


Figura Nº 20: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Yacuiba (precipitación total 2017-2018, 1433.90mm)

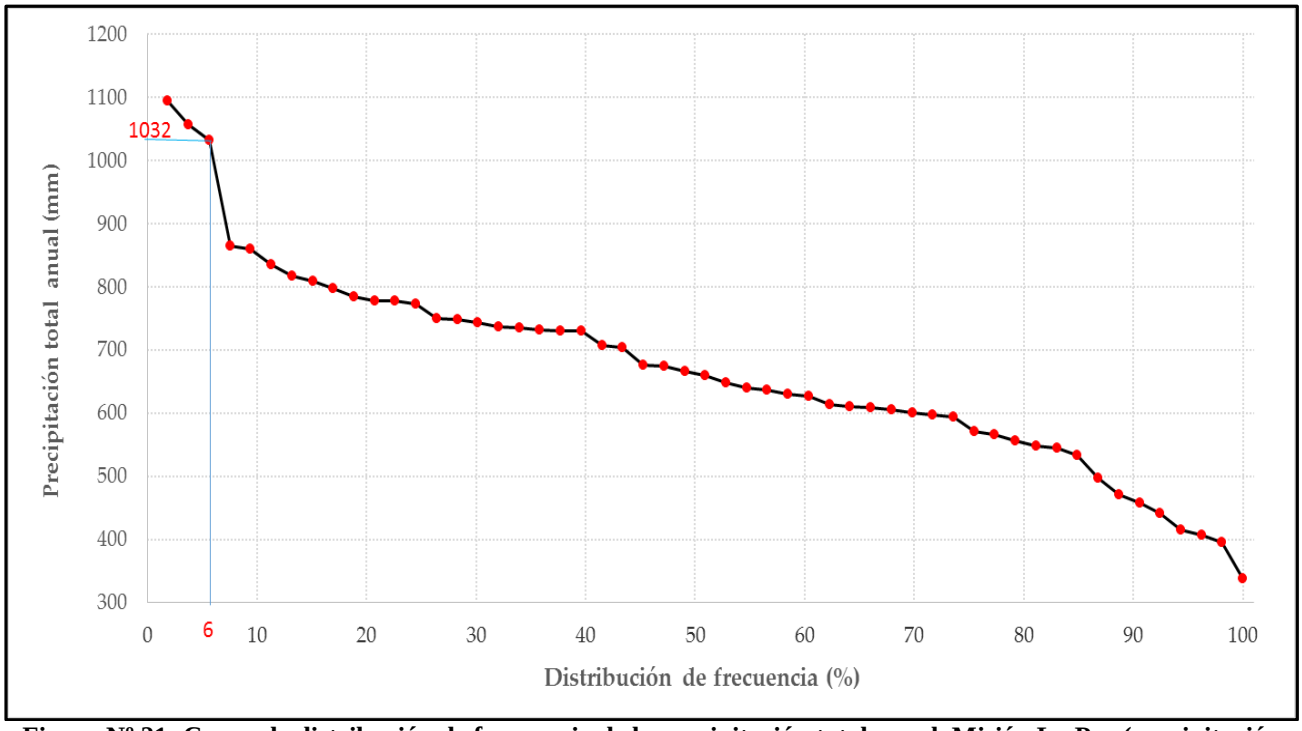


Figura Nº 21: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Misión La Paz (precipitación total 2017-2018, 1032mm)

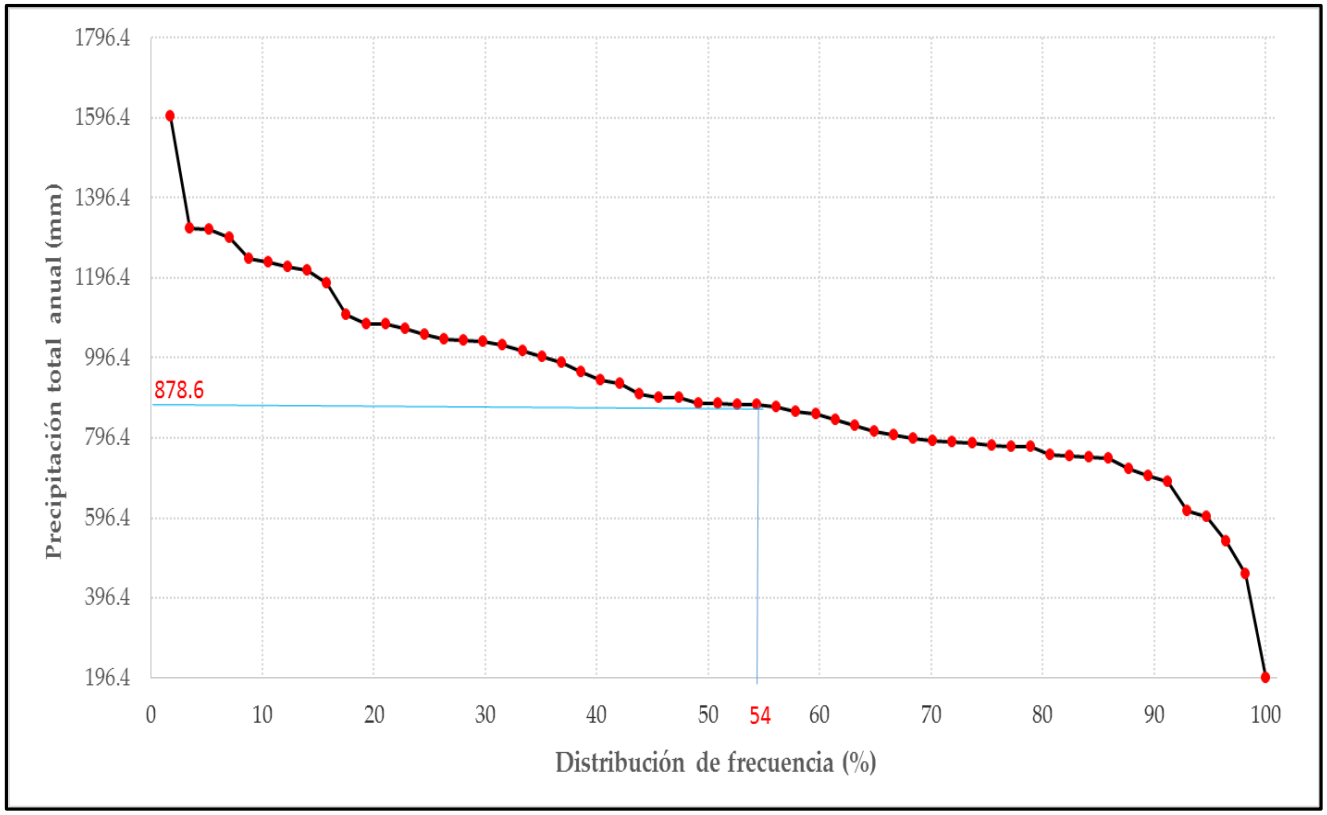


Figura Nº 22: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Tartagal (precipitación total 2017-2018, 876.60mm)

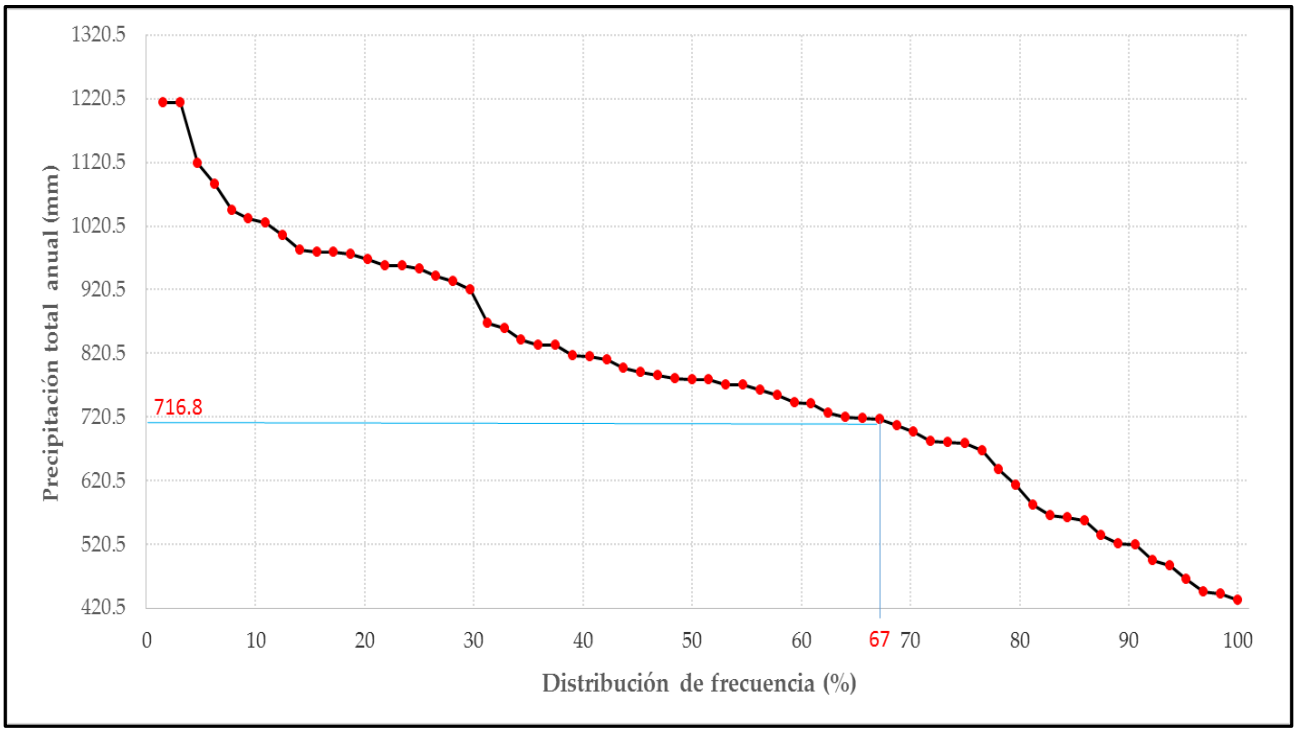


Figura Nº 23: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Mcal Estigarribia (precipitación total 2017-2018, 716.80mm)

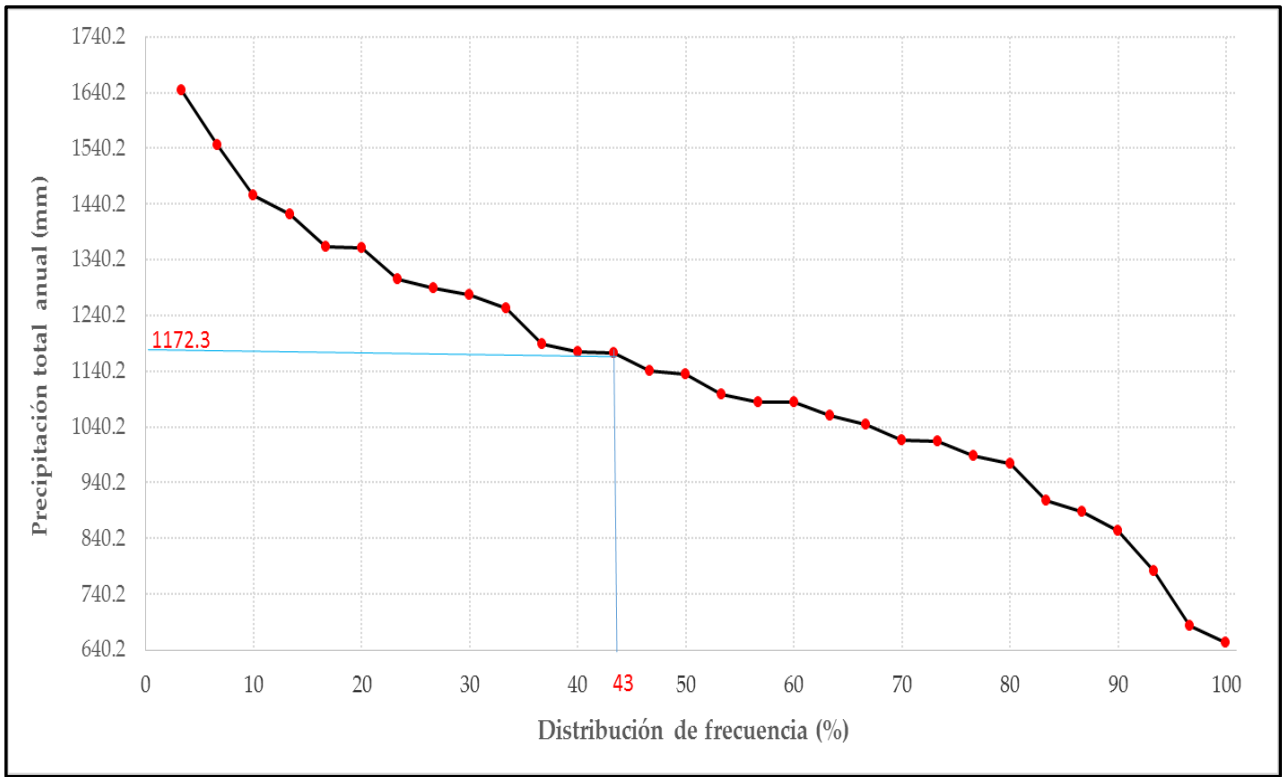


Figura Nº 24: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Pozo Colorado (precipitación total 2017-2018, 1173.30mm)

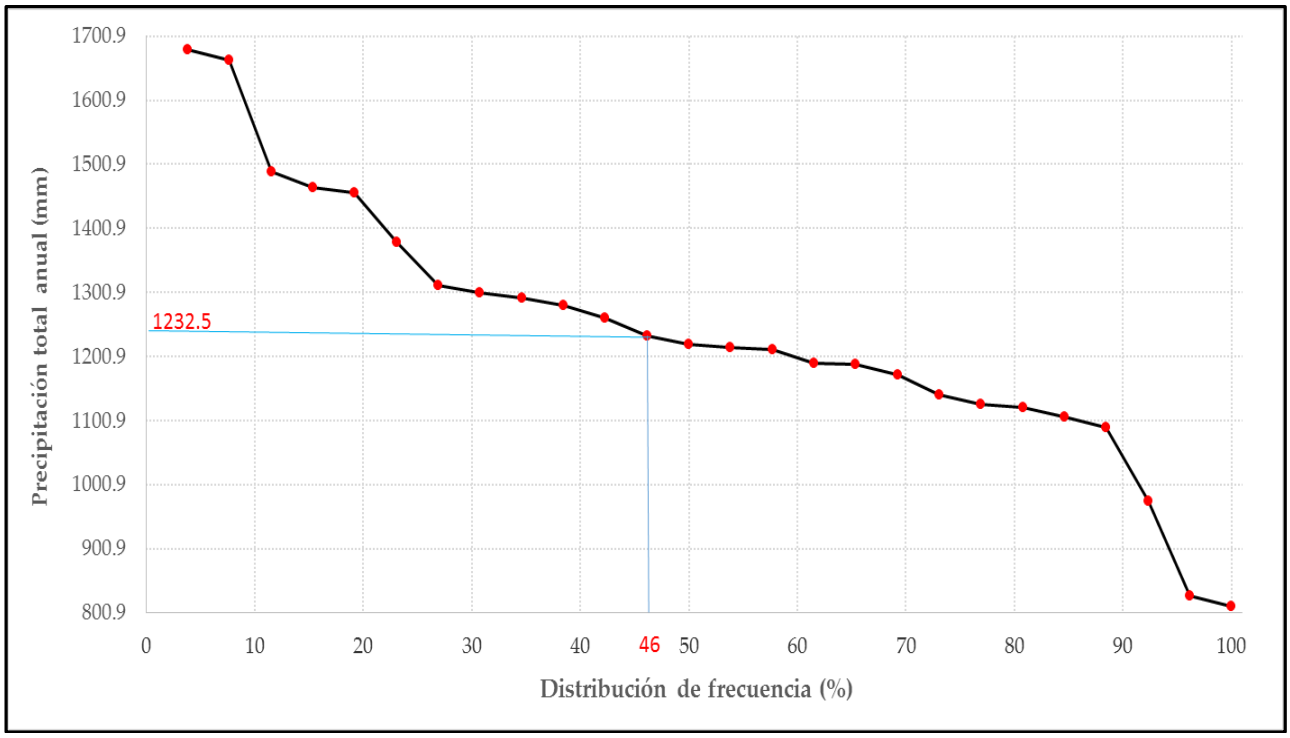


Figura Nº 25: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Gral. Bruguez (precipitación total 2017-2018, 1232.50mm)

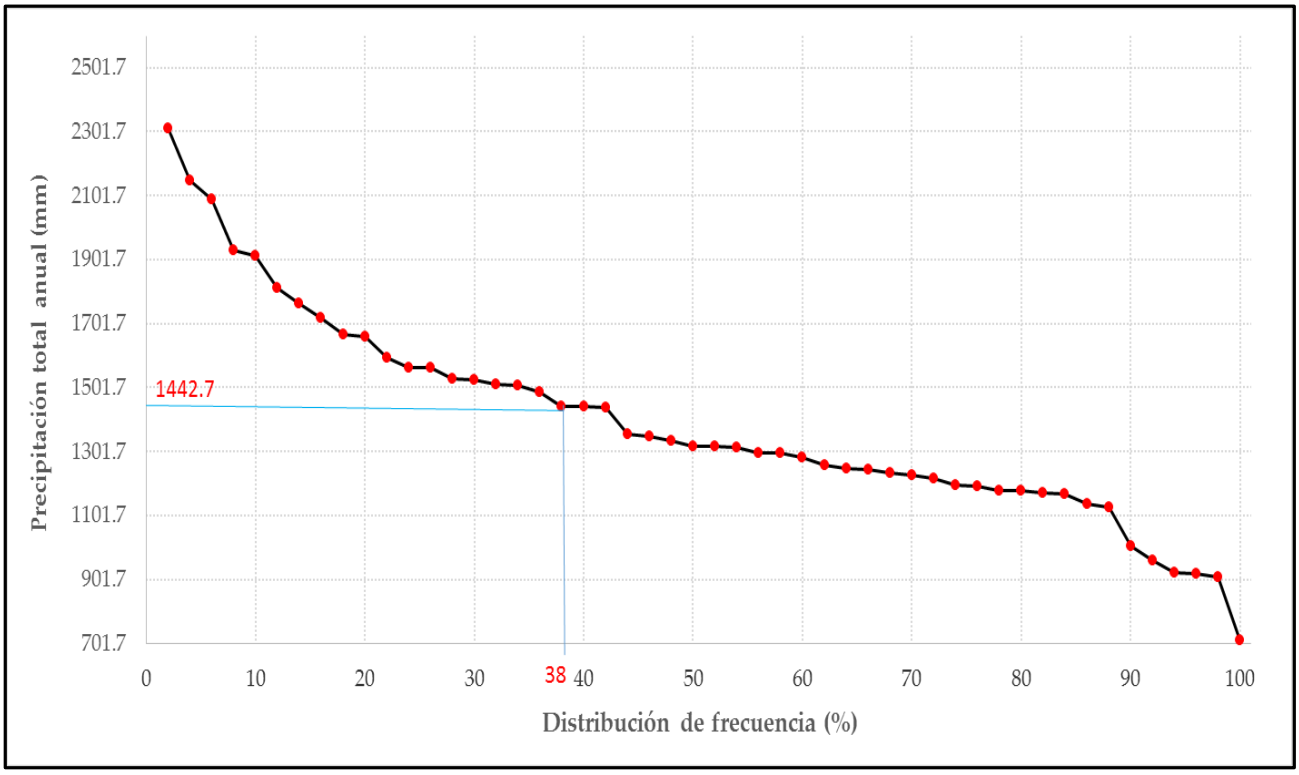


Figura Nº 26: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Asunción Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi (precipitación total 2017-2018, 1442.70mm)

NIVELES

Se presentan a continuación los niveles medios, mínimos y máximos diarios de las estaciones Villa Montes Estación de Bombeo (SENAMHI – Bolivia) y Misión La Paz (SIPH – EVARSA-Argentina)

Villa Montes

Como se observa en la Figura Nº 27, los niveles medios diarios en la estación Villa Montes para el año hidrológico 2017-2018 se pueden considerar superiores a los niveles medios diarios de los años hidrológicos analizados.

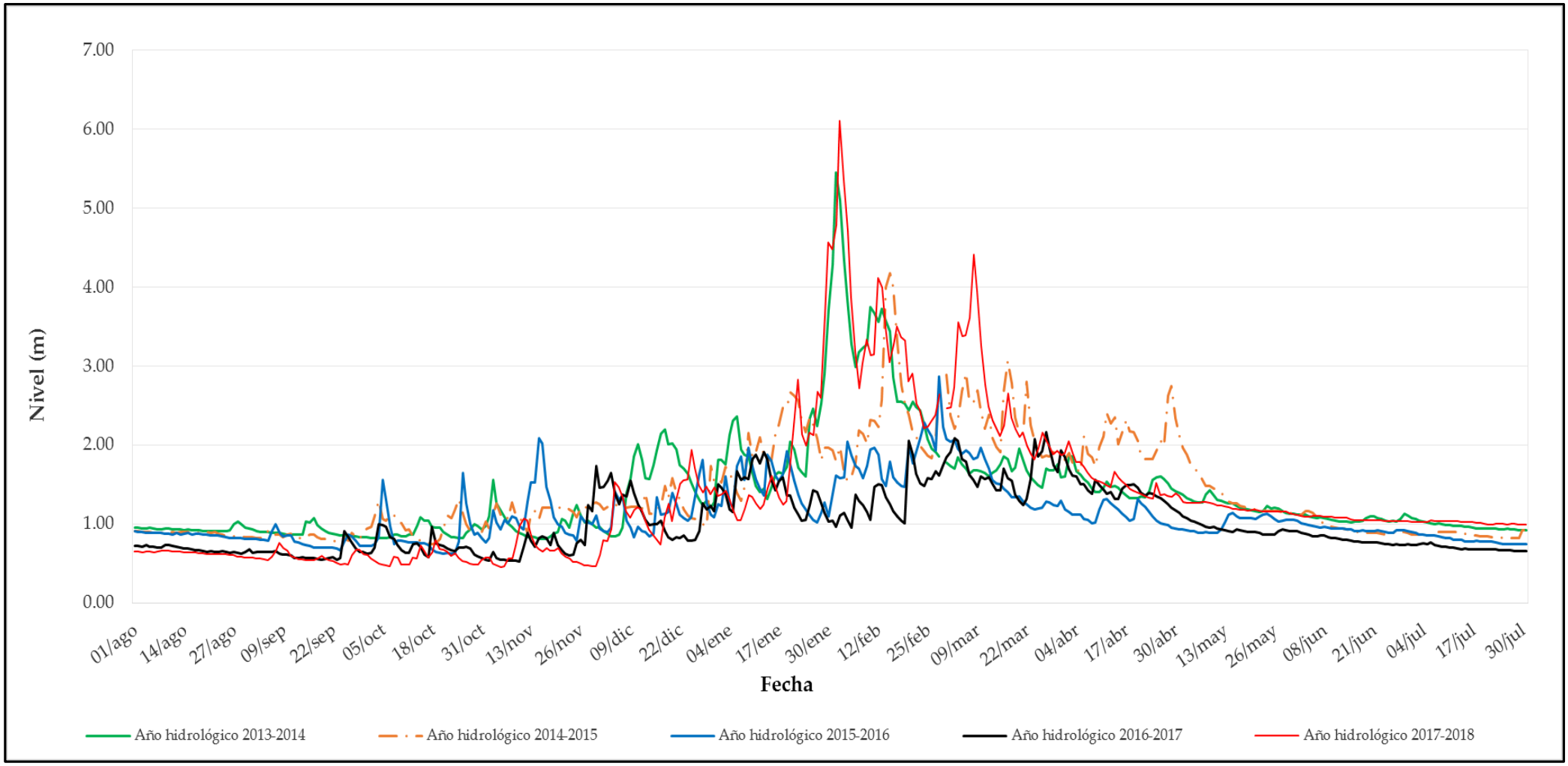


Figura Nº 27: Niveles medios diarios (m), Villa Montes

El año hidrológico 2017 – 2018. Niveles instantáneos.

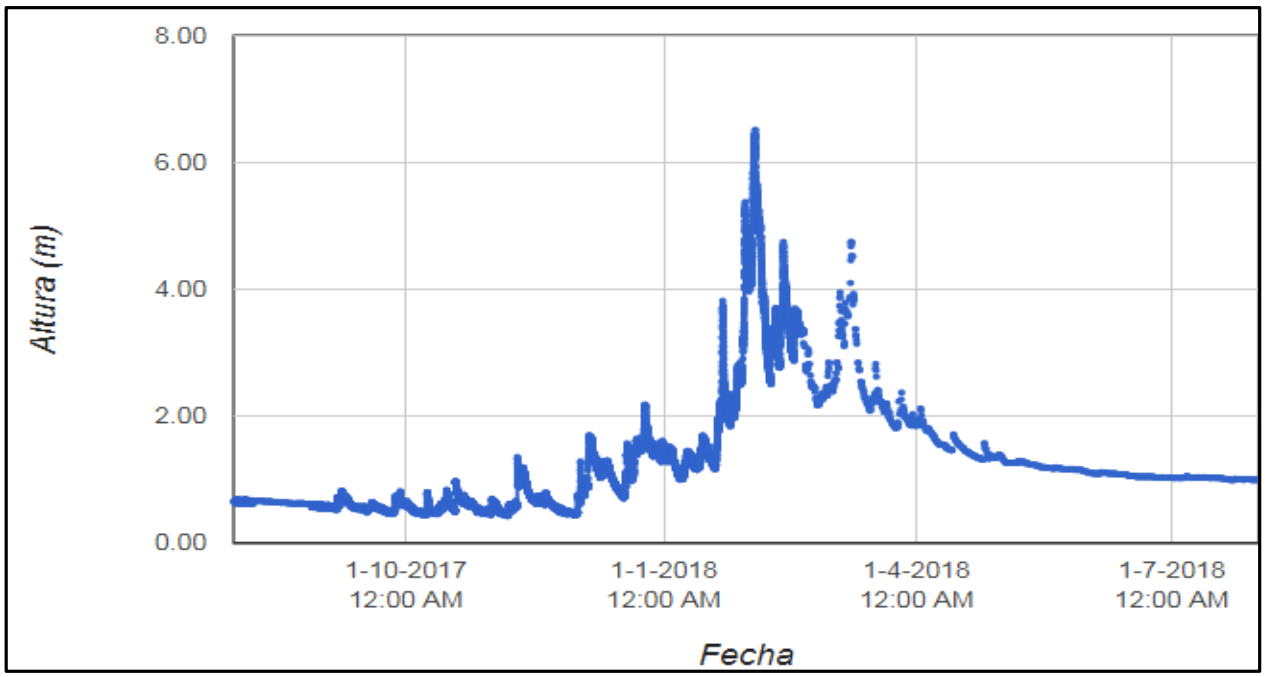


Figura Nº 28: Niveles instantaneos (m)

Hasta los primeros días del mes de **enero**, los niveles se mantuvieron por debajo de los **2 m**, y los del fondo en el tallweg alrededor de **-1.5 m.** Los mismos comenzaron a moverse como consecuencia de ls primeras crecidas, que produjeron una pequeña erosión del fondo del cauce y una posterior recuperación llegando a mediados de enero a un nivel de -0**.86 m** (Figuras Nos 28 y 29).

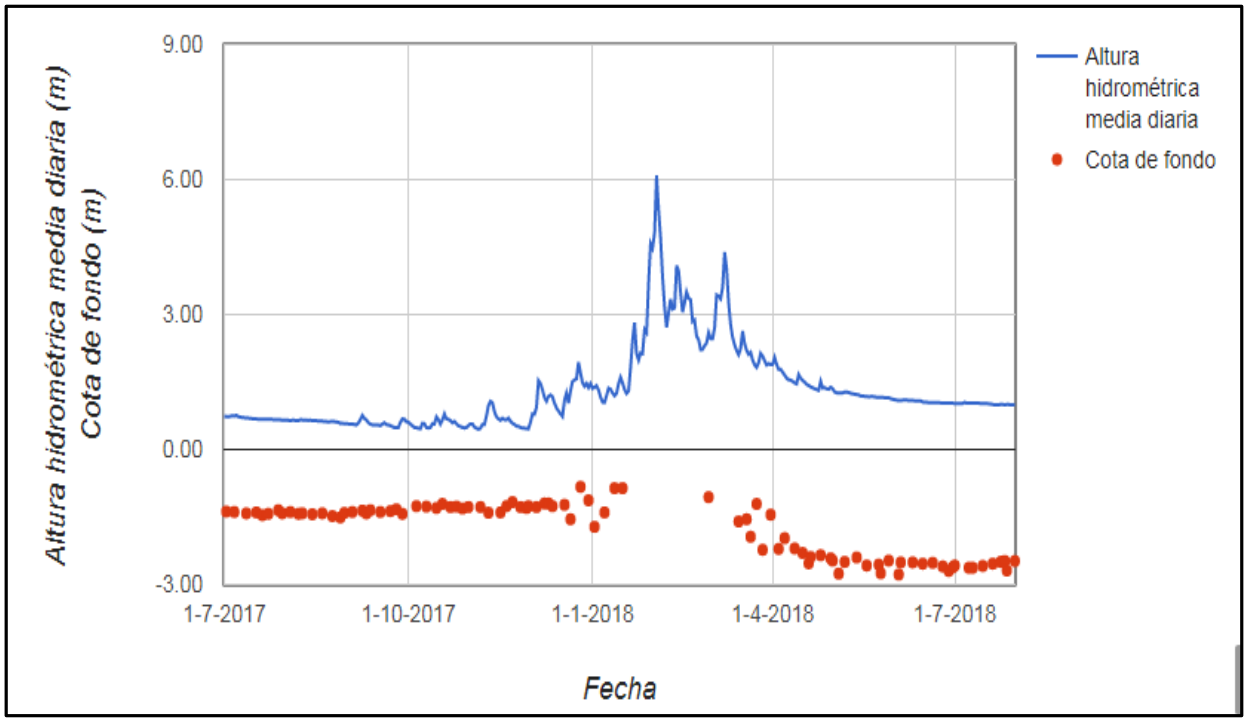


Figura Nº 29: Nivel medio diario de pelo de agua y fondo del cauce período agosto 2017 – julio 2018

Como consecuencia de las precipitaciones registradas en la cuenca el 19 y 20 de enero, a partir del **19 de enero de 2018** los niveles comenzaron a tener un incremento constante hasta el **21** a las **23:15hs,** con un nivel de **3.82m**.

Los niveles se mantuvieron por encima de los **3m** hasta el **22**. Entre los día **23** y **25** de dicho mes los niveles se mantuvieron entre **1.84m** y **2.35m**: nivel promedio **2.09m**.

Las precipitaciones registradas desde el **25 de enero al 4 de febrero** en la cuenca alta provocaron que a partir de las **3:45hs** del **29 de enero** los niveles comenzaran a superar los **3m**, llegando a registrse ese mismo día a las **23:45hs** un primer pico de **5.38m**. Los niveles se mantuvieron por encima de los **5m** hasta el **30 de enero**. Desde el **30 de enero** hasta el **1º de febrero** los niveles se encontraron por debajo de los **5m**, variando entre **4m** y **4.97m**: nivel promedio **4.64m**.

A partir del **1º de febrero** hasta el siguiente día los niveles se encontraron por encima de los **5m**, variando entre **5.01m** y **5.97m**: nivel promedio **5.57m**.

A las **00:45hs** del **2 de febrero**, los niveles comienzan a aumentar, superando los **6m**. Se registró un pico de **6.52m** el **2 de febrero** a las **15:00hs**, **nivel máximo registrado para el año hidrológico 2017-2018. Pasado el mismo los niveles descendieron.**

Desde el **2** hasta el **5 de febrero** los niveles se mantuvieron entre **4.08m** y **5.95m:** nivel promedio **5.06m**.

Desde el **5** hasta el **11** los niveles se mantuvieron en descenso. A partir de las **12:00hs** del **11** los niveles aumentaron, llegando a registrase el **12** a las **14:45hs** un nivel de **4.75m.** Pasado este incremento los niveles comenzaron a descender hasta el **8 de marzo,** en que se registró el último pico de crecida con **4.75m** a las **18:00hs.**

No se dispone de datos de profundidad de fondo desde el 16 de enero (último aforo con carro) hasta el 28 de febrero, en que se retomaron los aforos convencionales.

A partir de esa fecha se observa en la Figura Nº 29 que el nivel del fondo del cauce fue descendiendo desde -1,00 m hasta -2.48m al fin del año hidrológico.

A partir del **11 de marzo** hasta el **31 de julio** los niveles se mantuvieron por debajo de los **3m**, variando entre **0.99m** y **2.84m:** nivel promedio **1.42m.**

La Tabla Nº 4 muestra la comparación de niveles máximos y mínimos en la estación Villa Montes.

Tabla Nº 4: Niveles máximos y mínimos (m)

	Período				
Nivel	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018
máximo (m)	5.85	4.45	3.34	2.51	6.52
mínimo (m)	0.79	0.71	0.62	0.47	0.42

Al igual que con los datos de precipitaciones, se realizó el análisis de frecuencia de los máximos niveles registrados en la estación con los datos históricos disponibles en la Base de Datos. De un total de **42 años hidrológicos** [1](no consecutivos, solamente se consideraron años hidrológicos completos del 1 de agosto al 31 de julio), solamente el **19%** de los datos superó el nivel de **6.52m**.

El nivel mínimo registrado en los 42 años hidrológicos analizados fue de **0.42m**, el nivel máximo **9.70m** y el nivel promedio **1.46m**.

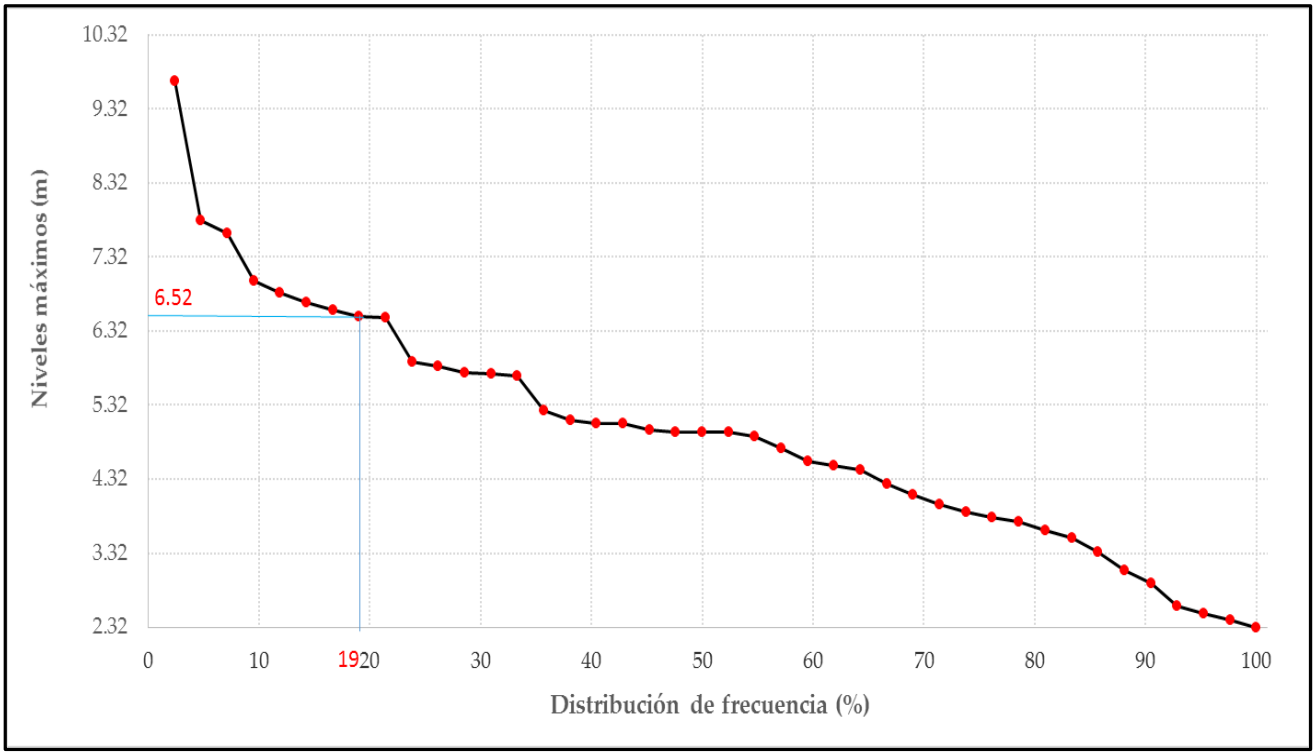


Figura Nº 30: Curva de distribución de frecuencia acumulada, niveles máximos

Si se consideran los 10 niveles máximos registrados desde el 2 de agosto de 1973 al 31 de julio de 2018, la crecida del año hidrológico se ubica en la posición Nº 8.

En la Tabla Nº 5, se detallan los 10 niveles máximos registrados para el período de información descripto, año hidrológico y fecha de registro.

[1] 1973-1984/1986-1987/1989-2018

Tabla Nº 5: máximos niveles (m) (02-08-73 al 31-07-18)

Año hidrológico	Fecha	Nivel máximo (m)
2006-2007	17/01/2007	9.70
1983-1984	22/03/1984	7.82
1998-1999	22/03/1999	7.64
2004-2005	14/02/2005	7.00
1978-1979	30/01/1979	6.84
2012-2013	21/01/2013	6.70
2005-2006	23/01/2006	6.60
2017-2018	**02/02/2018**	**6.52**
2003-2004	01/01/2004	6.50
2007-2008	26/01/2008	5.90

Fondo del cauce

La Figura Nº 31 presenta perfiles transversales en cuatro situaciones del año hidrológico analizado. En los del 03 de agosto y 04 diciembre de 2017 se puede ver que el nivel del fondo no había variado sustancialmente (dos perfiles de color ocre). Desde el 16 de enero hasta el 28 de febrero de 2018 no se dispone de perfiles de fondo (crecidas). A partir de esa fecha (perfil azul) el cauce comenzó a erosionarse hasta llegar, el 03 de junio, a su máxima profundidad (cota -2,78m) (perfil rojo).

A partir de junio de 2018, entonces, debido a la erosión producida en los meses de aguas altas precedentes, el fondo del cauce del nuevo año hidrológico 2018 – 2019 (01ago18 – 31jul19) comenzó con sus niveles inferiores a los dos años anteriores.

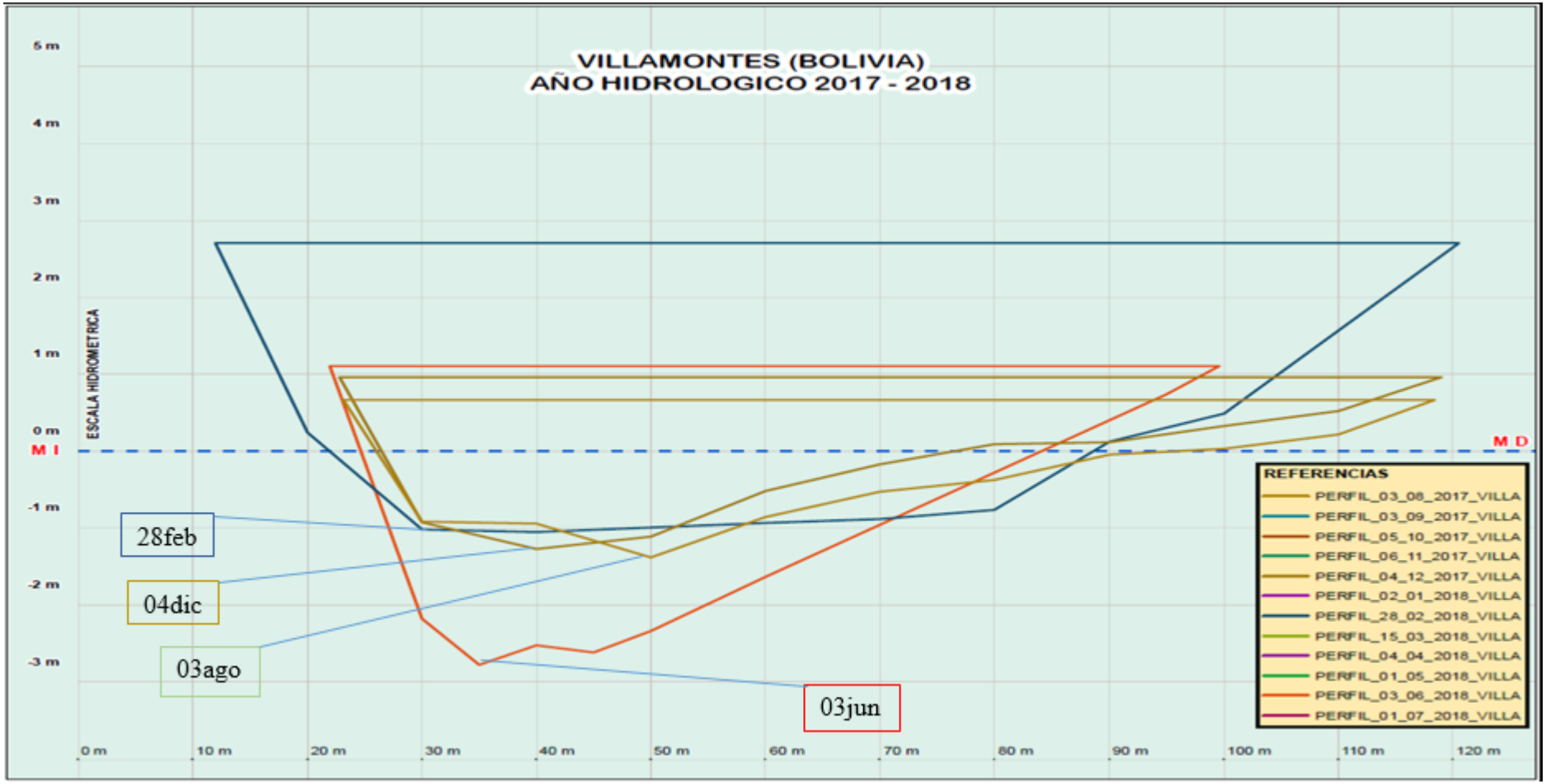


Figura Nº 31: Niveles de fondo del cauce en cuatro situaciones del año hidrológico 2017 – 2018

Comparando ahora con años anteriores, se puede observar en la Figura Nº 32 que el nivel del fondo descendió a niveles inferiores a los dos años precedentes.

Sólo después de la creciente del año hidrológico 2013 – 2014 (pico de 5,91 m el 01 febrero a las 18:30hs) la cota del fondo se ubicó a -4.94 m, medida el 23 de febrero de 2014.

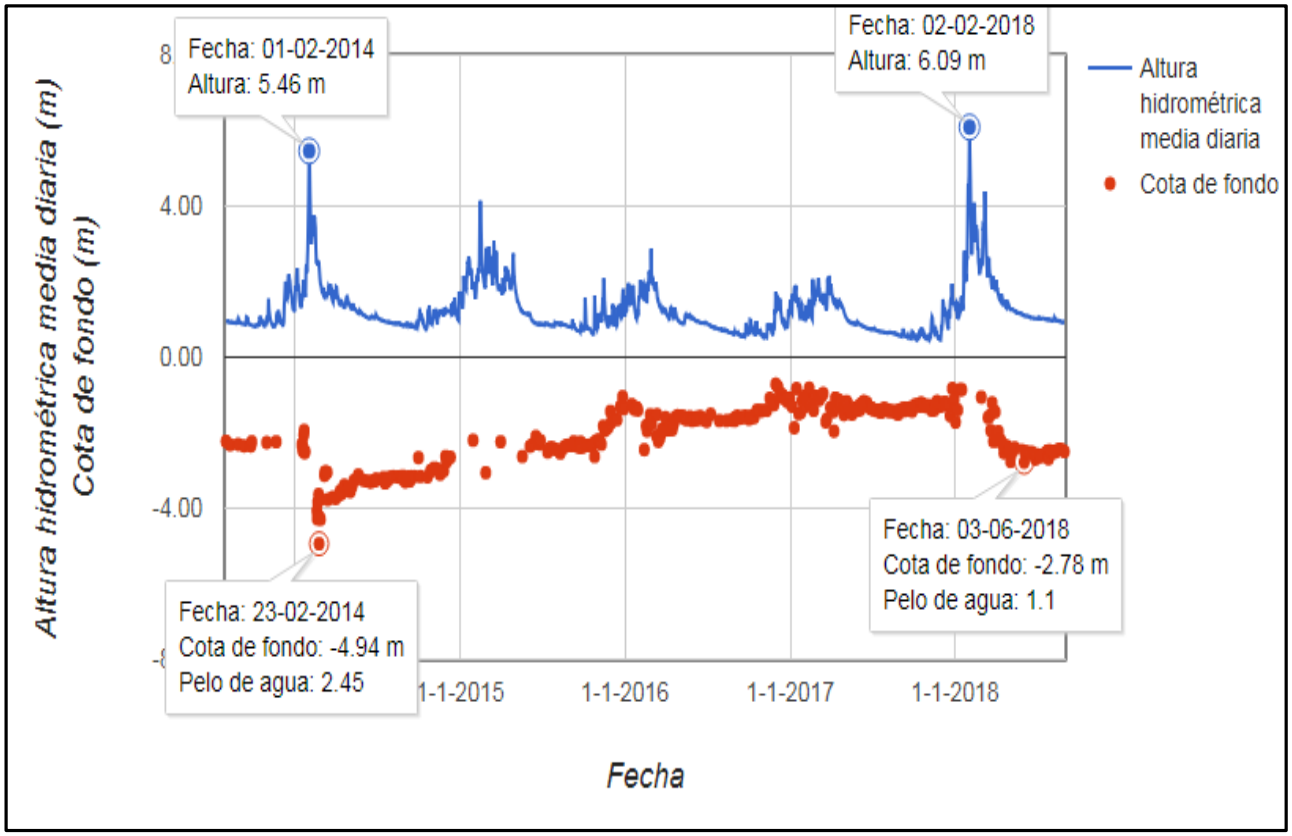


Figura Nº 32: Niveles de pelo de agua y fondo del cauce años hidrológicos 2013-2014 al 2017-2018

No obstante las lógicas variaciones de nível de fondo producidas por las crecidas (mecanismo de erosión – sedimentación), se puede expressar que la sección es razonablemente estable. Así lo demuestra la Figura Nº 33, en la que se presentan las curvas altura – caudal (H-Q) correspondientes a los años hidrológicos 2013-2014 al 2017-2018.

Allí se puede apreciar que, aún en caudales medios (del orden de los 400m^3/s), los corrimientos de las curvas no sobrepaan los 50 cm.

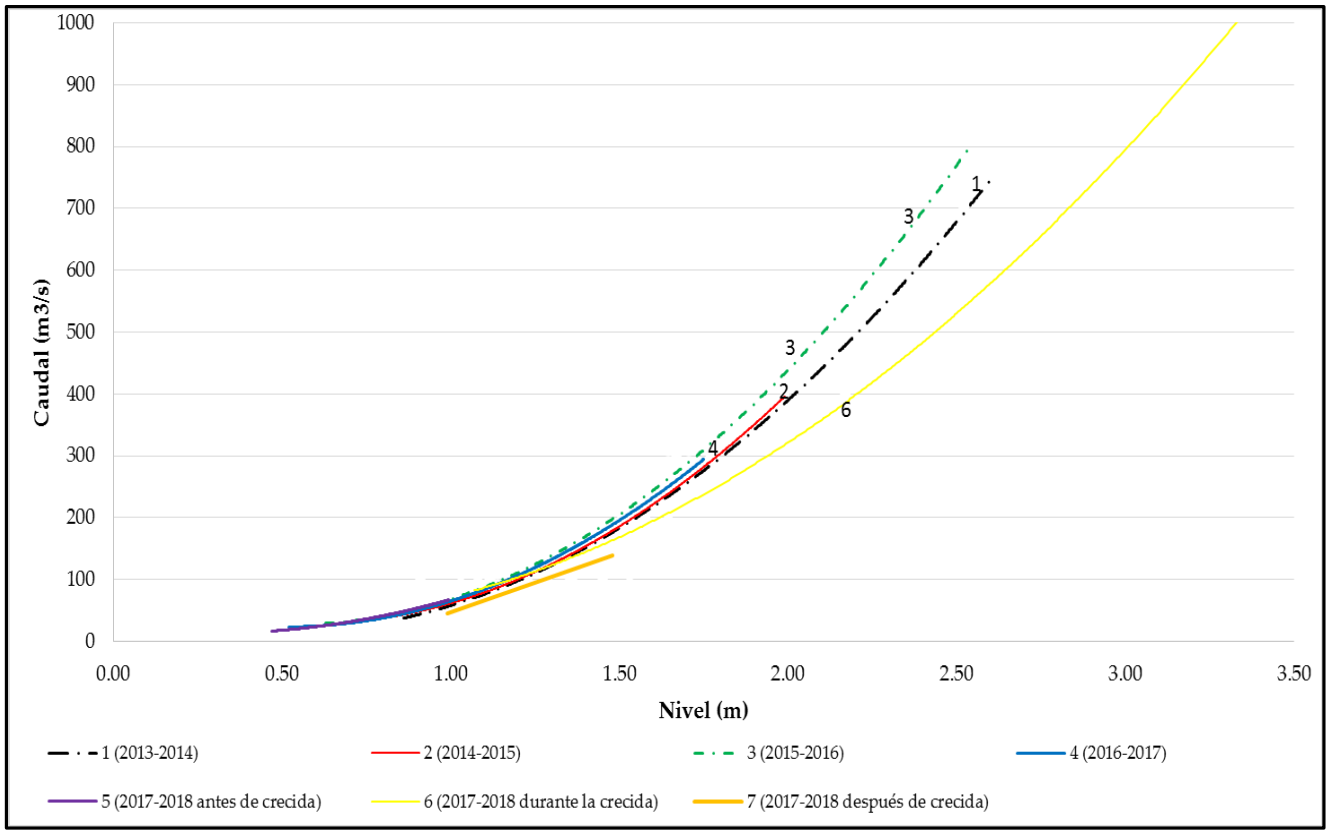


Figura Nº 33: curvas H-Q, período 2013-2014 al 2017-2018

MISIÓN LA PAZ

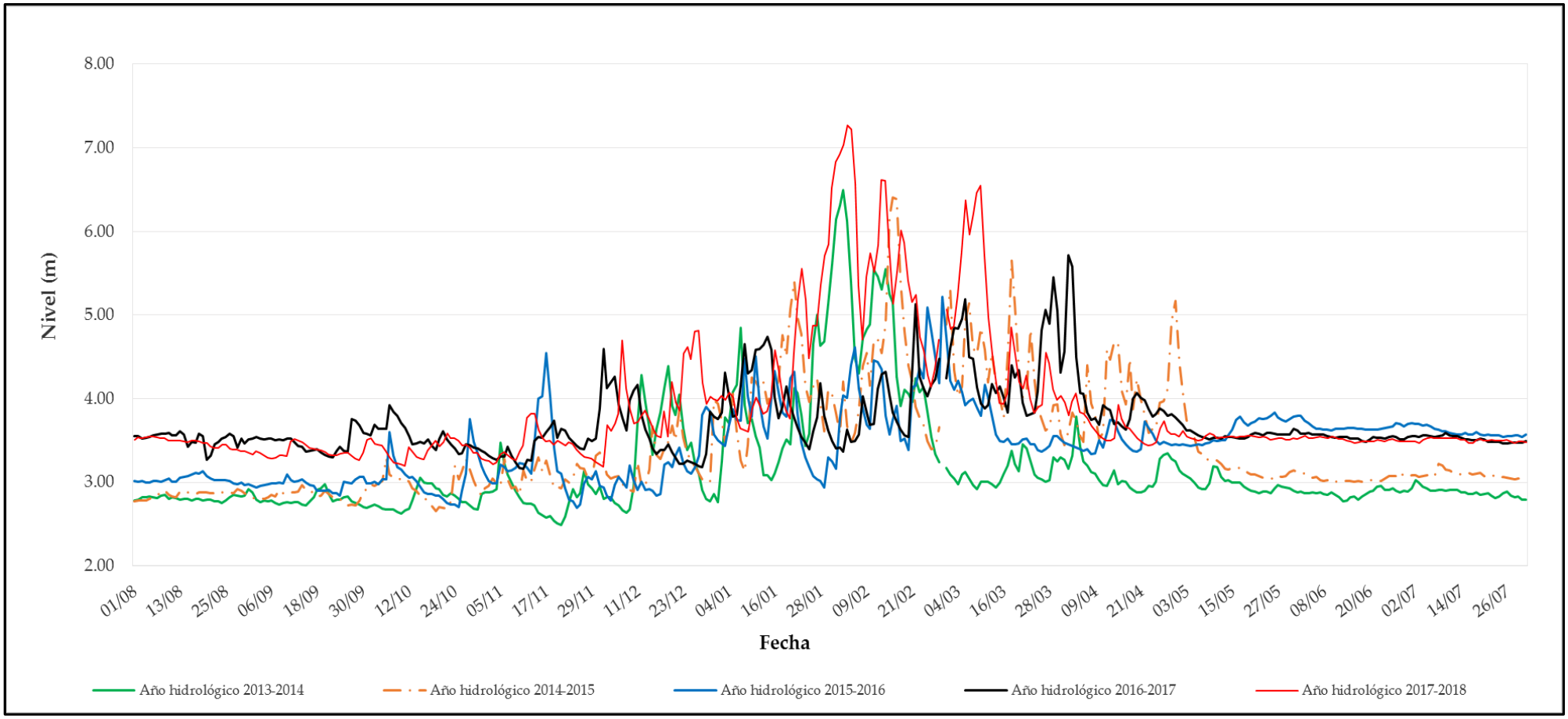


Figura Nº 34: Niveles medios diarios (m), Misión La Paz

Como se observa en la Figura Nº 34, los niveles medios diarios en la estación Misión La Paz para el año hidrológico 2017-2018 en la mayor parte del tiempo se mantuvieron por encima de los niveles medios diarios de los años hidrológicos anteriores.

El año hidrológico 2017 – 2018. Niveles instantáneos.

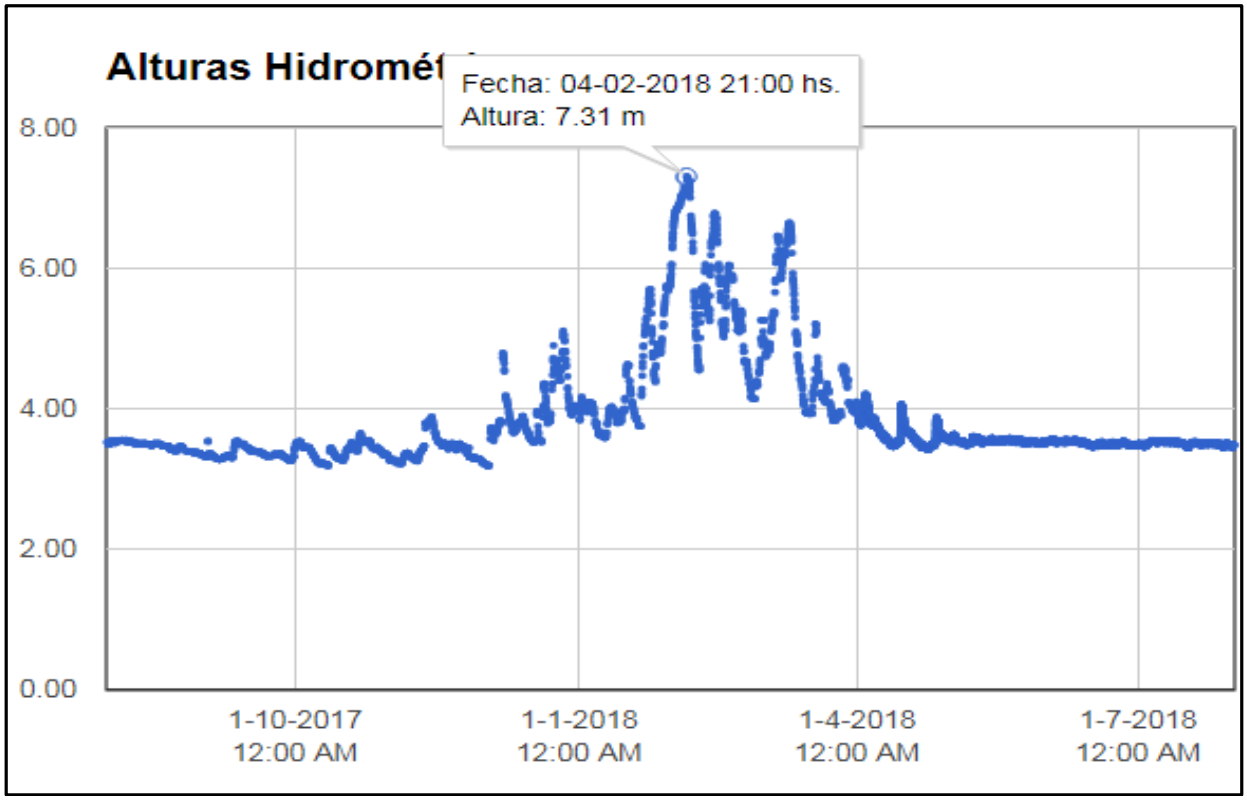


Figura Nº 35: Niveles instantaneos (m), Misión la Paz. Año hidrológico 2017-2018

El fondo del cauce en la sección arrancó el año hidrológico con una cota de 2,27m (29 de julio de 2017), que con ligeras variaciones se mantuvo relativamente constante hasta el 21 de enero de 2018 (2,45 m).

Como consecuencia de las precipitaciones registradas el **19 y 20 de ener**o los niveles comenzaron a incrementarse a partir del día **21 de enero**. Se mantuvieron en forma creciente pasando los 4m durante el día y, a partir del día **22,** superaron los **5m**.

El nivel máximo registrado fue de **5.75m** a las **00:00hs** del **24 de enero** (información brindada por el Sr. Julio Jaimes de la comunidad de Pozo Hondo, nivel medido en la escala de EVARSA). A partir de ese mismo día y hasta el **25** los niveles se mantuvieron por debajo de los **5m**, variando entre **4.38m** y **4.95m**.

Dichas crecidas produjeron una fuerte erosión del cauce (mas de 3 m), cuyo fondo llegó, el 7 de febrero, a -1,02m.

A raíz de las precipitaciones registradas desde el **25 de enero al 4 de febrero** en la cuenca alta los niveles alcanzaron los **5m** el **27 de enero**. El **28** los niveles continuaron en ascenso registrándose un primer pico de **5.54m** a las **21:00hs**.

Continuando la tendencia creciente, el **29 de enero** se registró un nivel máximo diario de **5.75m** a las **9:00hs**. Otros niveles registrados en el día variaron entre **5.60m** y **5.73m**, nivel promedio de **5.70m**.

A partir de las **21:00hs** del **30 de enero** los niveles superaron los **6m**, se mantuvieron por encima de este nivel hasta el **2 de febrero**, registrándose en dicho período niveles entre **6m** y **6.99m**: nivel promedio **6.70m**.

Desde el **3** hasta el **6 de febrero** los niveles se mantuvieron por encima de los 7m. El máximo nivel registrado fue de **7.31m, máximo nivel para el año hidrológico 2017-2018** producido el **4 de febrero** a las **18:00 hs**. Este nivel se mantuvo hasta las **22:00hs del mismo día**. El mínimo nivel registrado en dicho período fue de **7m:** nivel promedio **7.17m**. Desde el **6 de febrero** los niveles estuvieron por encima de los **6m**, variando entre **6.24m** y **7.01m:** nivel promedio **6.57m.**

La imagen Landsat 8, de fecha 9 de febrero de 2018, muestra con claridad la situación del agua (niveles de inundación y derrames) tras el paso de dicho pico. Figura Nº 36.

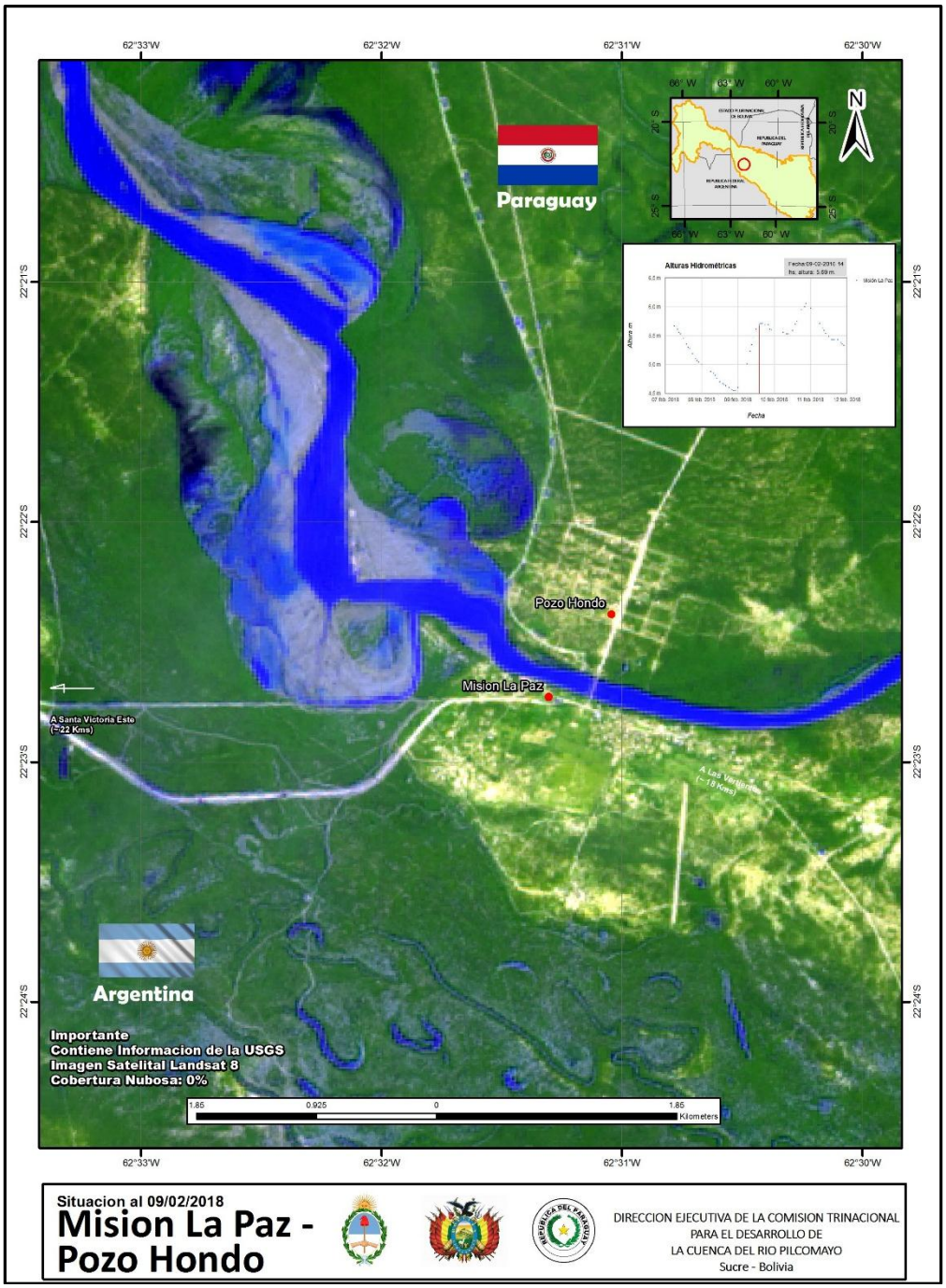


Figura Nº 36: imagen satelital Landsat 8 (09-02-18)

Excepto dos aforos efectuados el el 7 y 8 de febrero, no se dispone de datos de profundidad de fondo (aforos convencionales con carro) desde el 27 de enero hasta el 16 de febrero.

El **10 de febrero** a las **20:00hs** el nivel supera los **6m**, llegando a las **21:00hs** de dicho día a registrarse **6.06m**. Durente el **11 de febrero** los niveles se mantuvieron entre **5.33m** y **5.98m:** nivel promedio **5.52m**.

Desde el día **12** hasta el **15 de febrero** los niveles se mantuvieron por encima de los **6m**, variando entre **6.01m** y **6.78m:** nivel promedio **6.52m**.

El **18 de febrero** los niveles variaron entre **6m** y **6.05m:** nivel promedio **6.03m**. A partir del **19 de febrero** hasta el **5 de marzo** los niveles se mantuvieron por debajo de **6m**, variando entre **4.14m** y **5.90m**: nivel promedio **4.94m**. Desde el **5** hasta el **6 de marzo** los niveles variaron entre **6.08m** y **6.46m:** nivel promedio **6.32m**.

Desde el **7** hasta el **11 de marzo** los niveles variaron entre **6.04m** y **6.65m:** nivel promedio **6.37m**. A partir de dicho día hasta el **31 de julio** los niveles se mantuvieron por debajo de los **6m**, variando entre **3.42m** y **5.93m**: nivel promedio **3.60m.**

A medida que las aguas fueron descendiendo se fue produciendo una sedimentación que terminó el año hidrologico con una cota de fondo de alrededor de los 2m .

En la Figura Nº 37 se puede ver este proceso, así como el mantenimiento de estos niveles de fondo hasta el fin del año hidrológico.

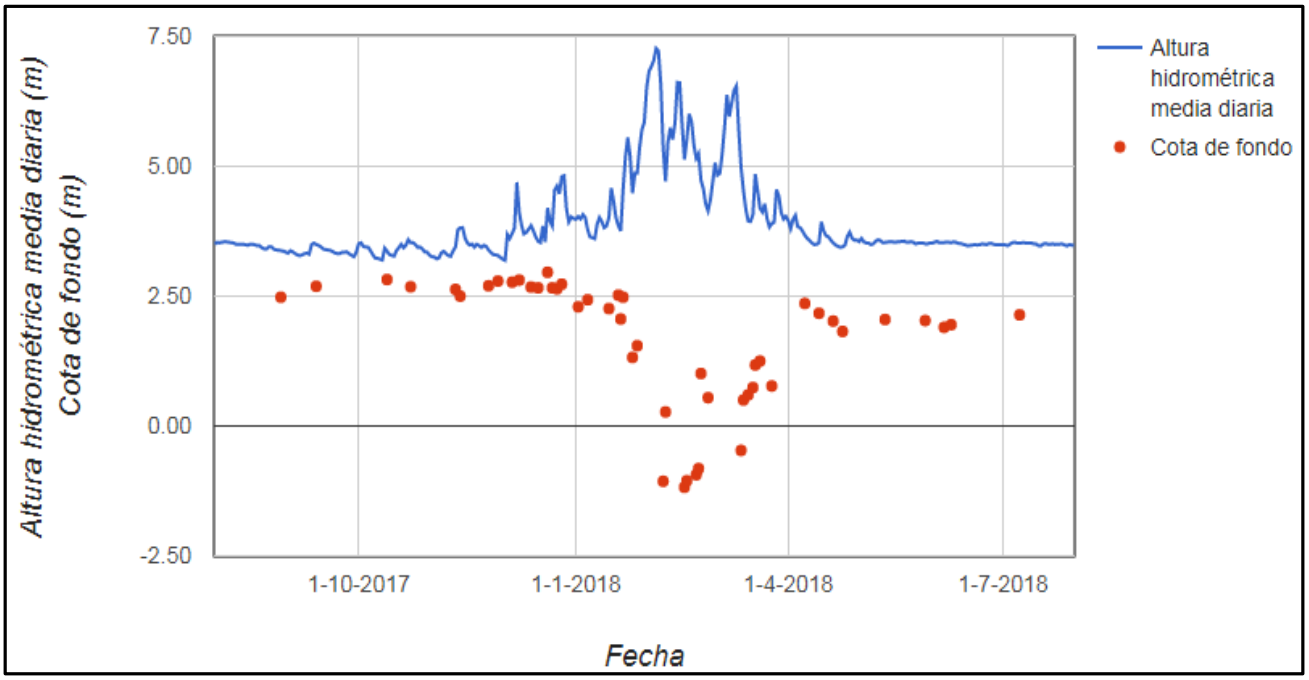


Figura Nº 37: Nivel de pelo de agua medio diario y fondo del cauce período agosto 2017 – julio 2018

La Tabla Nº 6 muestra la comparación de niveles máximos y mínimos en la estación Misión La Paz.

Tabla Nº 6: Niveles máximos y mínimos (m)

	Período				
Nivel	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018
máximo (m)	6.53	6.45	5.70	5.82	7.31
mínimo (m)	2.48	2.61	2.46	3.12	3.19

Al igual que en la estación Villa Montes, se realizó el análisis de frecuencia del máximo nivel registrado en la estación para el año hidrológico 2017-2018 respecto de los datos históricos con los que se cuentan en la Base de Datos. De un total de **54 años hidrológicos consecutivos**, el registro de **7.31m** fue el máximo de toda la serie.

El nivel mínimo registrado en los 54 años hidrológicos analizados fue de **0.13m**, y el nivel promedio **2.48m**.

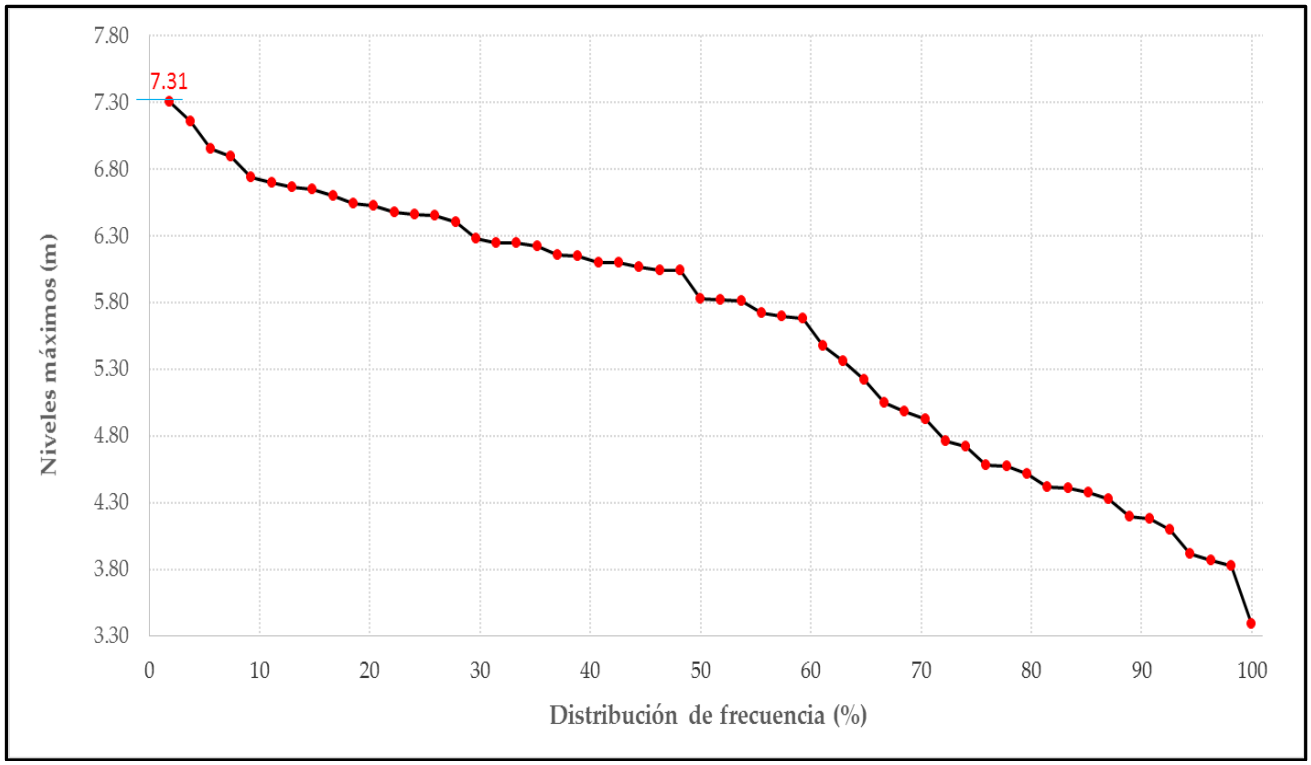


Figura Nº 38: Curva de distribución de frecuencia de niveles máximos

Si se consideran los registros desde el 2 de septiembre de 1964 hasta el 31 de julio de 2018, como se mencionó anteriormente, el máximo registro de nivel para el año hidrológico 2017-2018, es el máximo registrado en el período mencionado en las primeras líneas del párrafo.

En la Tabla Nº 7 se detallan los 10 niveles máximos registrados para el período de información descripto, año hidrológico y fecha de registro.

Tabla Nº7: máximos niveles (m) (02-09-64 al 31-07-18)

Año hidrológico	Fecha	Nivel máximo (m)
2017-2018	**04/02/2018**	**7.31**
1983-1984	22/03/1984	7.16
1987-1988	18/03/1988	6.95
1978-1979	02/02/1979	6.90
2006-2007	19/01/2007	6.74
2004-2005	16/02/2005	6.70
2011-2012	13/02/2012	6.67
2007-2008	27/01/2008	6.65
2012-2013	22/01/2013	6.60
2009-2010	27/02/2010	6.54

Sin embargo, este máximo valor de la serie de alturas no se corresponde con un nivel máximo en materia de caudales. Este valor debe asociarse a las variaciones sufridas por el cauce en la sección.

Fondo del cauce

La Figura Nº 39 presenta perfiles transversales en cuatro situaciones del año hidrológico analizado. El del 29 de agosto de 2017 coresponde al inicio del año hidrológico, en su época de aguas bajas. Se observa que el thalweg está recostado sobre la margen derecha (RA).

El del 05 de diciembre de 2017 correspondería al fin de la época seca. El río ha ocupado la totalidad del cauce con profundidades semejantes.

El del 07 de febrero de 2018, inmediatamente después de haber pasado el pico máximo registrado en el año hidrológico, (04 de febrero) , muestra la máxima erosión del cauce, con un thalweg, desplazado hacia la margen derecha, que alcanzó la cota -1m.

Finalmente, el del 12 mayo de 2018 presenta la configuración del fondo que, después del período de crecidas, y acompañansdo la estabilidad del nivel del pelo de agua, se mantiene, con ligeras variantes hasta el fin del año hidrológico.

En la Figura Nº 40se puede ver la evolución de los niveles de pelo de agua y fondo desde agosto de 2012 hasta agosto de 2018.

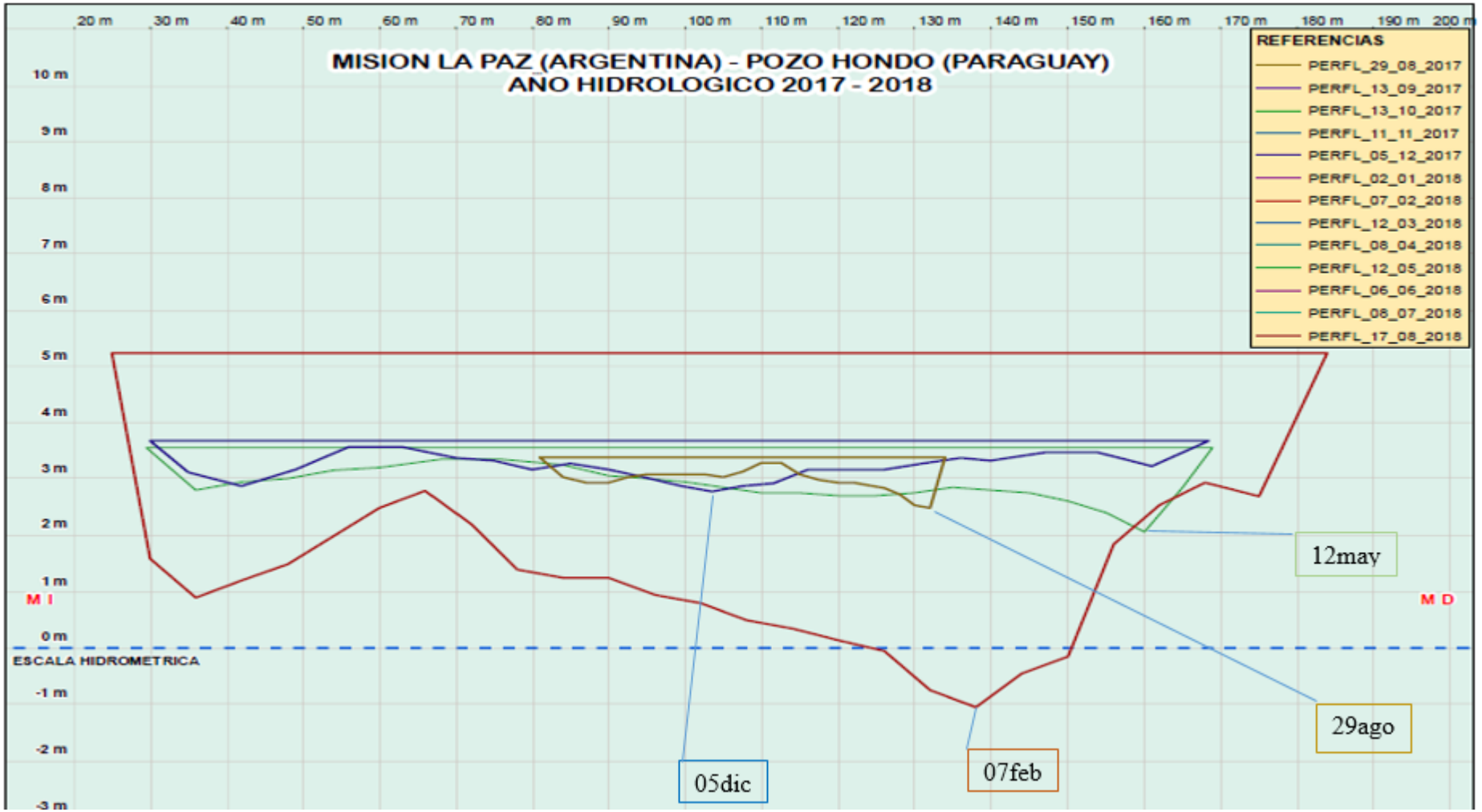


Figura Nº 39: Niveles de fondo del cauce en cuatro situaciones del año hidrológico 2017 – 2018

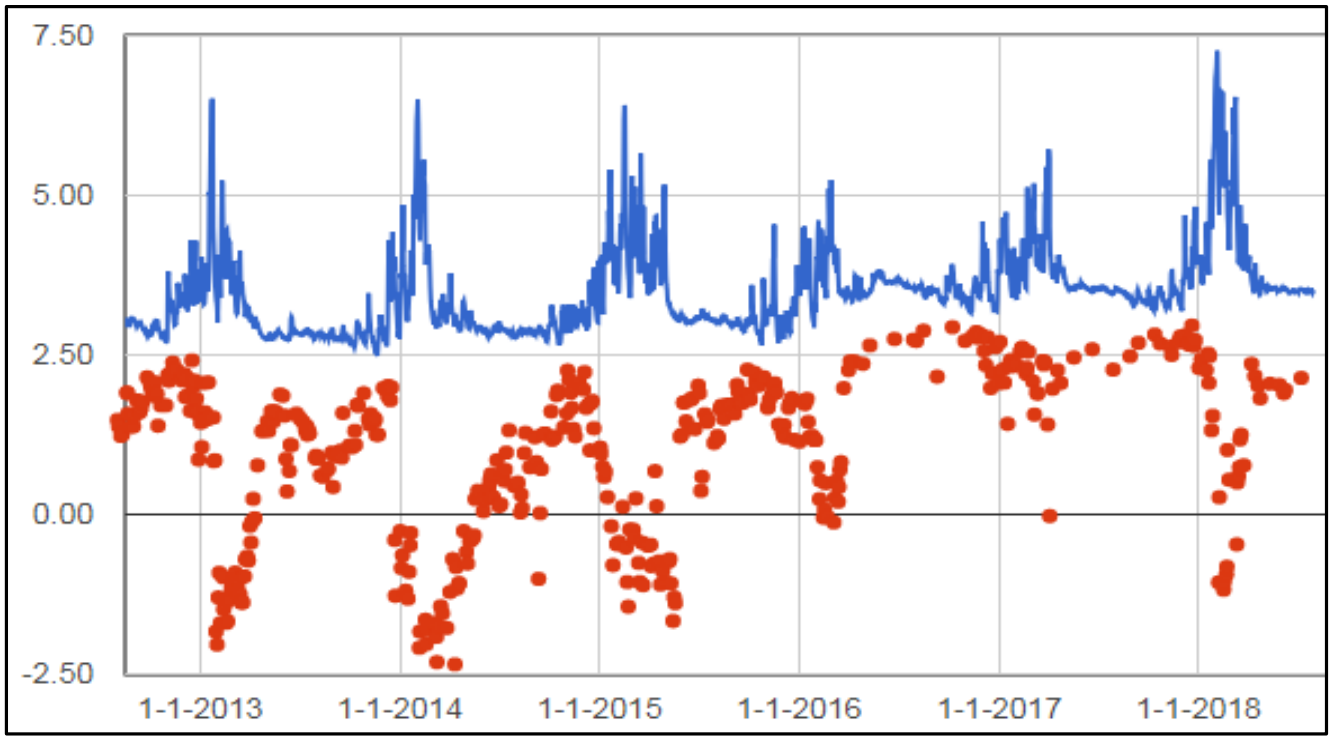


Figura Nº 40: Niveles de pelo de agua y fondo del cauce años hidrológicos 2013-2014 al 2017-2018

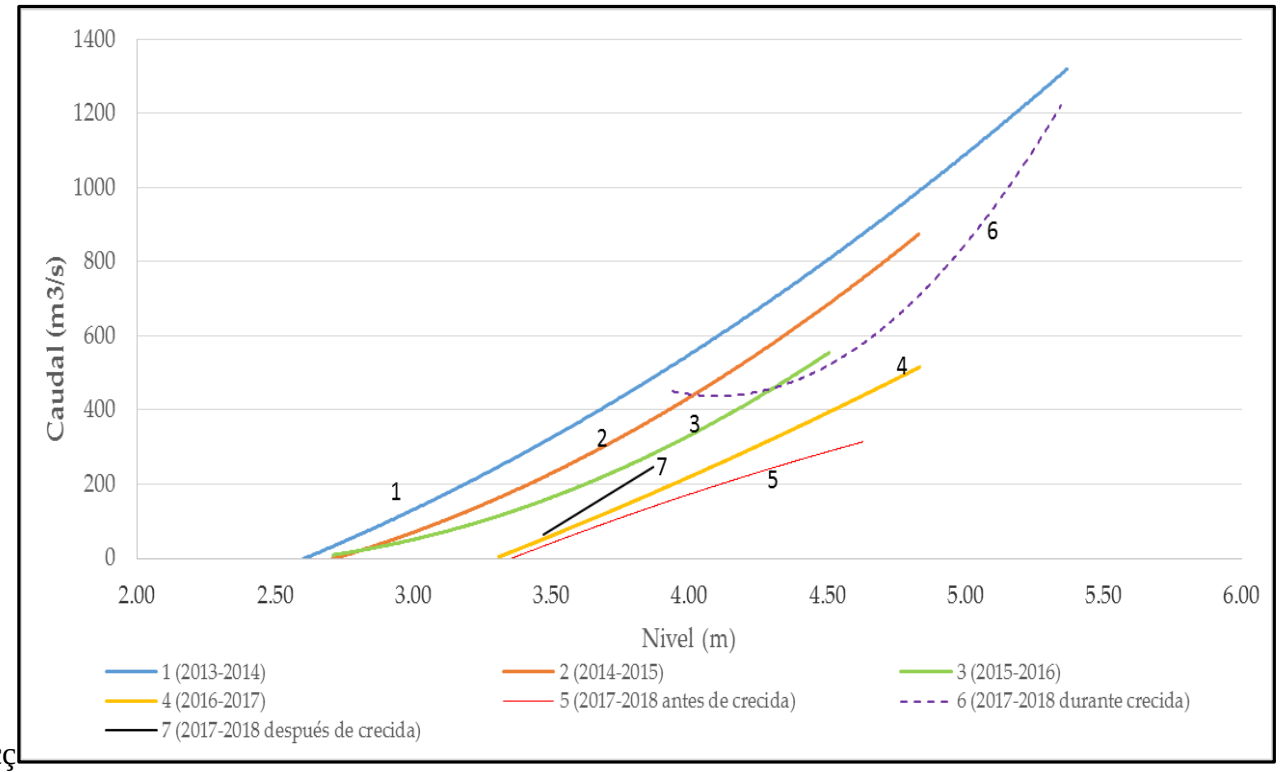
Se corrobora lo expresado respecto del ascenso medio del fondo del cauce producido, fundamenttalmente, desde el verano de 2015[2], y mantenido durante los años 2016 y 2017 por la incapacidad de erosión de las pequeñas crecidas registradas en esos dos años hidrológicos.

Pero se aprecia que después de las crecidas de febrero de 2018 las cotas de fondo se ubicaron por debajo de los niveles de los años hidrológicos 2015-2016 y 2016-2017: aproximadamemnte 50cm, con lo que el río recuperó, en parte, su capacidad de transporte anterior a estos dos períodos.

Ello se aprecia, asimismo en las curvas altura- caudal que se muestran en la Figura Nº 40. Si se observa la curva Nº 1, correspondiente al año hidrológico 2013-2014, se puede comprobar que a un caudal de 200m^3/s le corresponde una altura de escala de 3.20m, aproximadamente. Las curvas Nº 2, Nº 3 y Nº 4 van desplazándose hacia la derecha, indicando que para erogar ese mismo caudal, el nivel de agua en la escala debió ser mayor, mostrando claramente la pérdida de la capacidad de tranporte de ese tramo del cauce. Si se observa la curva Nº 5, que es la de mejor ajuste para los pares de valores de H-Q obtenidos antes de la época de crecida del año hidrológico 2017-2018, se puede comprobar que ese mismo caudal requirió una altura de agua de 4.20m, aproximadamente, es decir, 2.00m más que en 2013-2014.

[2] Evaluación de los datos hidrológicos obtenidos en la cuenca del río Pilcomayo correspondiente al año hidrológio 2016-2017. DE CTN UMyCD, diciembre de 2017

Las crecidas ocurridas generaron la sensible erosión del cauce expuesta precedentemente y determinaron un corrimiento de la curva H-Q para los caudales medidos después de las crecidas hacia la izquierda, indicando una recuperación de la capacidad de transporte. Así, siguiendo con el caudal de 200m^3/s, el mismo requeriría una altura de agua sobre la escala del orden de los 3.60m.



ÇÇ

Figura Nº 41: curvas H-Q, período 2013-2014 al 2017-2018

NIVELES MÁXIMOS

Comparando los valores del año hidrológico 2017-2018 con los períodos 2005-2006; 2006-2007 y 2007-2008 en los que se registraron crecidas significativas, se tiene:

Estación Villa Montes:

- **Período 2006-2007:** los niveles a partir del 13 de enero de 2007 se mantuvieron por encima de los **3m**, registrándose un máximo nivel horario de **9.70m (17-01-07).** Estos niveles superiores a los **3m** se mantuvieron por un lapso de **11 días**. Con posterioridad a estos niveles se registró otro pico el **18 de marzo** donde el nivel máximo alcanzó los **4.54 m**, el cual se mantuvo un solo día.
- **Período 2017-2018:** para este período los niveles superiores a los 3m se mantuvieron por un lapso de **28 días**.

Considerando los 10 niveles máximos registrados desde el 2 de agosto de 1973 al 31 de julio de 2018, y la cantidad de días com alturas superiores a los 3m, se tiene lo siguiente, ver Tabla Nº 8.

Tabla Nº 8: Altura máxima y total de días con niveles mayores a 3m, por año hidrológico

Año hidrológico	Fecha	Nivel máximo (m)	Cantidad de días h>3m
2006-2007	17/01/2007	9.70	11
1983-1984	22/03/1984	7.82	58
1998-1999	22/03/1999	7.64	34
2004-2005	14/02/2005	7.00	9
1978-1979	30/01/1979	6.84	41
2012-2013	21/01/2013	6.70	11
2005-2006	23/01/2006	6.60	27
2017-2018	02/02/2018	6.52	28
2003-2004	01/01/2004	6.50	11
2007-2008	26/01/2008	5.90	27

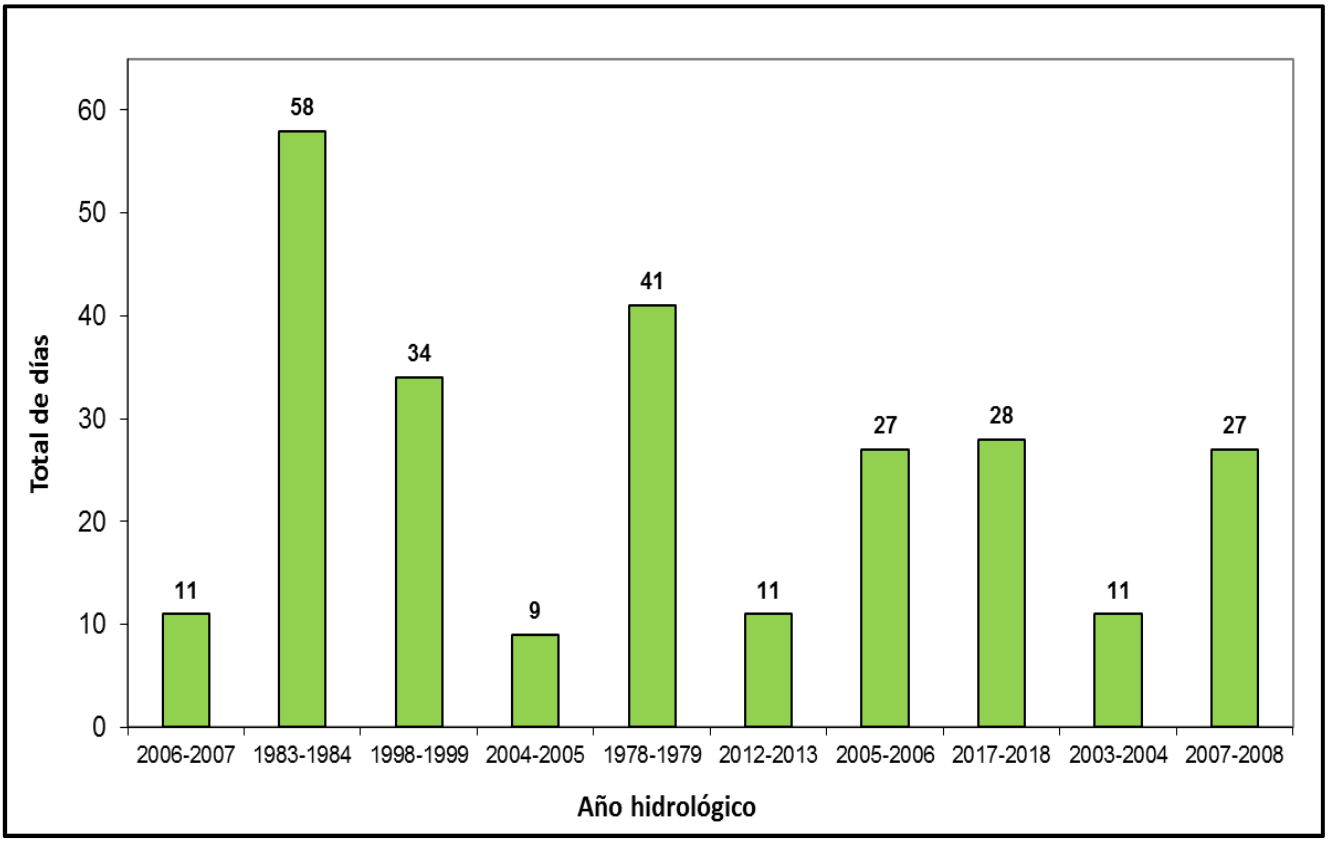


Figura Nº 42: Total de días por año hidrológico con altura mayor a 3m (la gráfica se corresponde con la Tabla Nº 7)

Estación Misión La Paz:

- **Período 2006-2007:** los niveles empezaron a superar los **5 m** a partir del día 14 de enero de 2007, registrándose un máximo nivel horario de **6.74 m (19-01-07).** Con posterioridad a este nivel, un pico significativo se registró el día **20 de marzo** con una altura máxima de **6.46 m.** Los niveles se mantuvieron superiores a los **5 m** por un lapso de **11 días**.
- **Período 2017-2018:** para este período los niveles superiores a los 3m se mantuvieron por un lapso de **44 días**.

Considerando los 10 niveles máximos registrados desde el 2 de septiembre de 1964 al 31 de julio de 2018, y la cantidad de días com alturas superiores a los 5m, se tiene lo siguiente, ver Tabla Nº 9.

Tabla Nº 9 Altura máxima y total de días con niveles mayores a 5 m, por año hidrológico

Año hidrológico	Fecha	Nivel máximo (m)	Cantidad de días h>5m
2017-2018	04/02/2018	7.31	44
1983-1984	22/03/1984	7.16	9
1987-1988	18/03/1988	6.95	7
1978-1979	02/02/1979	6.90	4
2006-2007	19/01/2007	6.74	11
2004-2005	16/02/2005	6.70	8
2011-2012	13/02/2012	6.67	27
2007-2008	27/01/2008	6.65	27
2012-2013	22/01/2013	6.60	9
2009-2010	27/02/2010	6.54	8

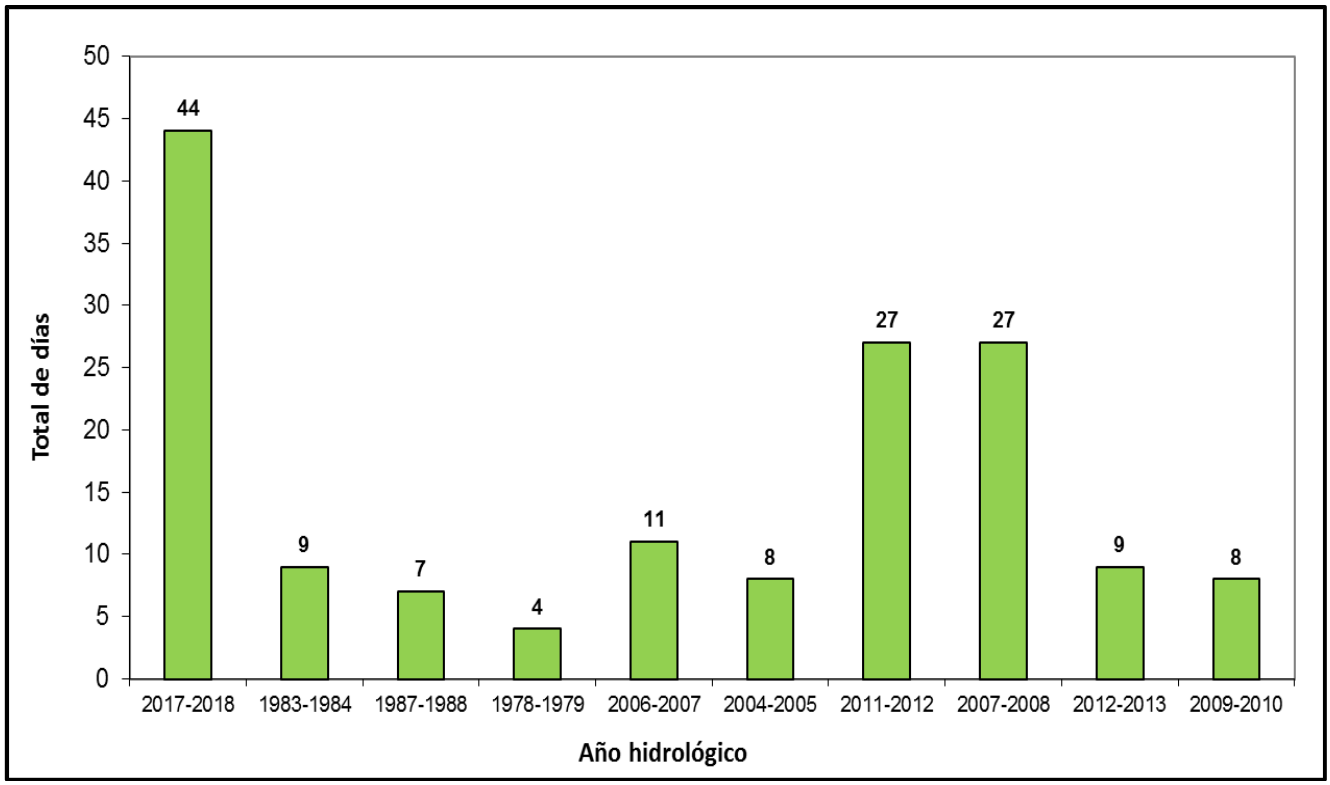


Figura Nº 43: Total de días por año hidrológico con altura mayor a 5m (la gráfica se corresponde con la Tabla Nº 9)

* se considera en ambas estaciones, la cantidad de días no necesariamente consecutivos en los que el nivel estuvo por encima de 3 metros en Villa Montes y 5 metros en Misión La Paz

TRASLADO DE CRECIDAS

Con los registros de las estaciones automáticas de Talula, Puente Aruma y Villa Montes, y los datos de escalas en Misión La Paz, se calcularon los tiempos de traslado del pico de crecida entre las estaciones mencionadas (Figura Nº 44, Tablas Nº 10 y Nº 11).

Tabla Nº 10: tiempo de traslado pico de crecida

Estación	Fecha y Hora	Nivel máximo (m)	Tiempo de traslado pico de crecida en horas
Talula	1-2-18 2:00	3.77	20.00
Puente Aruma	1-2-18 22:00	9.67	
Puente Aruma	21-1-18 10:30	7.11	12.75
Villa Montes	21-1-18 23:15	3.82	
Puente Aruma	29-1-18 12:00	7.97	11.00
Villa Montes	29-1-18 23:00	5.38	
Puente Aruma	1-2-18 22:00	9.67	17.00
Villa Montes	2-2-18 15:00	6.52	
Villa Montes	21-1-18 23:15	3.82	48.75
Misión La Paz	24-1-18 0:00	5.75	
Villa Montes	2-2-18 15:00	6.52	51.00
Misión La Paz	4-2-18 18:00	7.31	

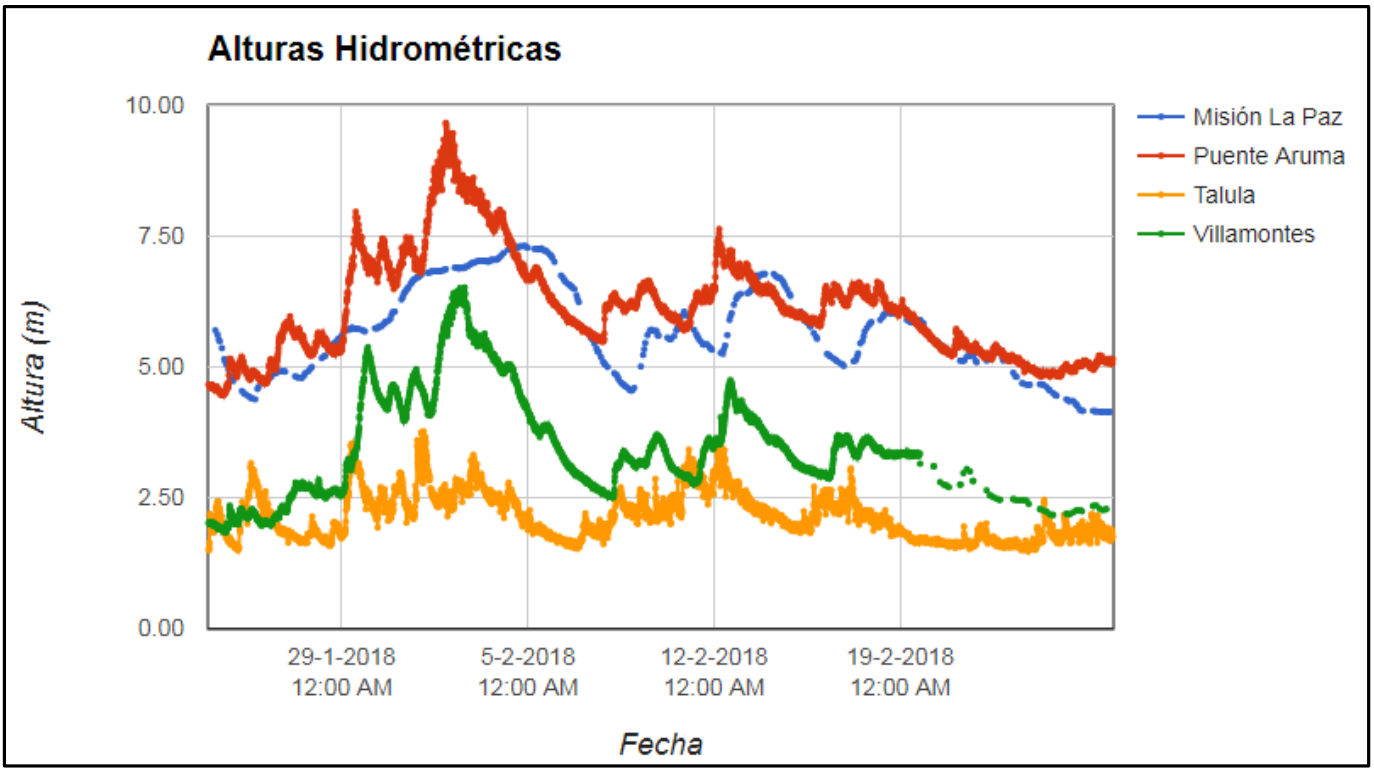


Figura Nº 44: hidrogramas Talula, Puente Aruma, Villa Montes y Misión La Paz

Tabla Nº 11: comparación tiempo de traslado entre Villa Montes – Misión La Paz

Fecha de crecida	Tiempo de traslado entre Villa Montes –Misión La Paz
21-22 de enero 2013	33hs
1-3 de febrero 2014	37hs
15-16 de febrero 2015	30hs
1-3 de marzo 2015	27hs
28-29 de febrero 2016	34hs
27-29 de marzo 2017	44hs
1-2 de abril 2017	34hs
21-24 de enero 2018	**48.75hs**
2-4 de febrero 2018	**51hs**

Se aprecia que los tiempos de traslado registrados en la crecidas de enero y febrero 2018 fueron los mayores de todos los registrados analizados en la Tabla Nº 11. Ello puede haberse debido a una mayor ocupación de planicies de inundación laterales, ensanchamiento del cauce y disminución de velocidades de escurrimiento.

CAUDALES

Estación Villa Montes:

Para el cálculo de los caudales se analizaron tres períodos.

Como se aprecia en la Figura Nº 45, el primero desde el principio del año hidrológico hasta la iniciación de las crecidas (principios de enero de 2018), un segundo, entre dicha fecha y el 20 de abril (fin de las crecidas) y un tercero, a partir de dicha fecha hasta el final del año hidrológico.

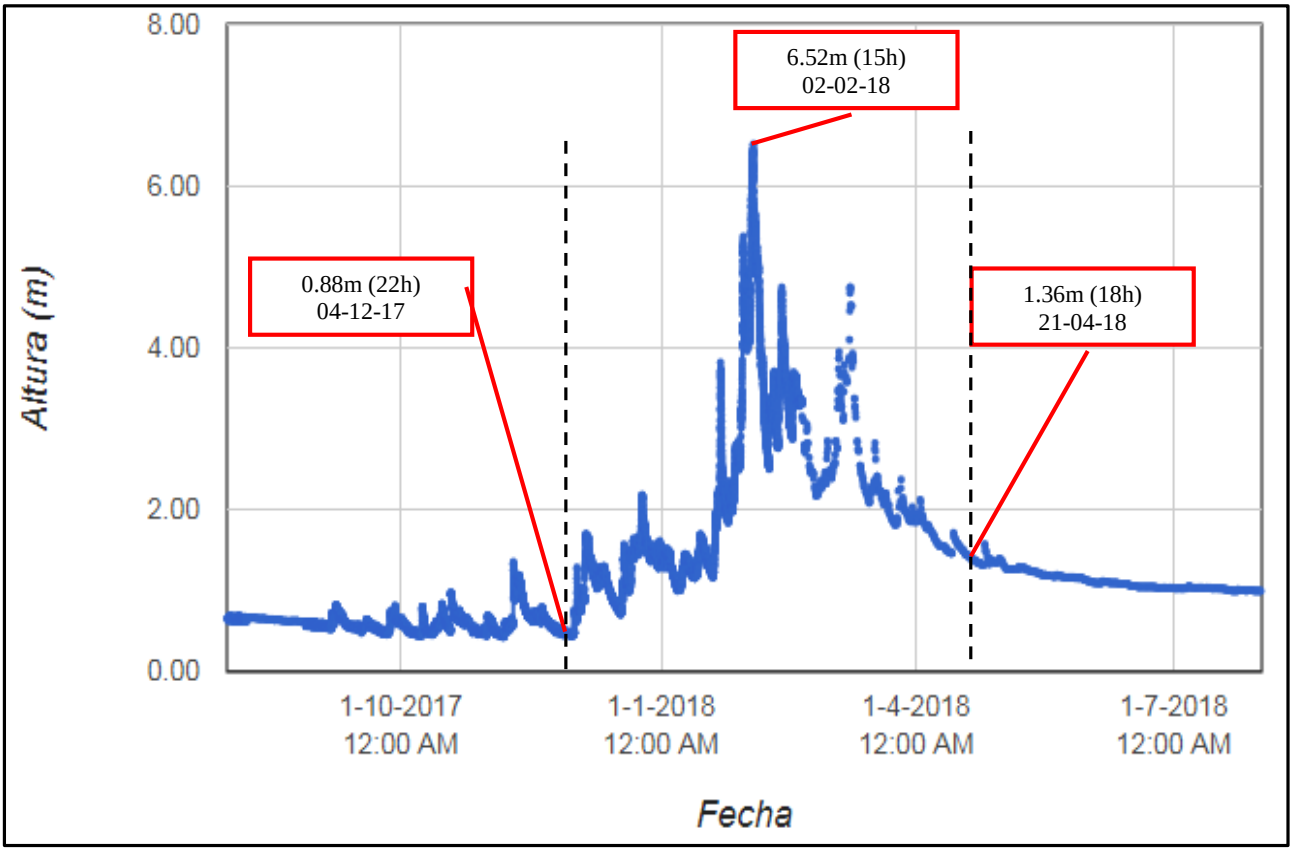


Figura Nº 45: hidrograma Villa Montes (año hidrológico 2017-2018)

Se obtuvieron las siguientes curvas:

- Para el primer período (01-08-17 al 04-12-17)

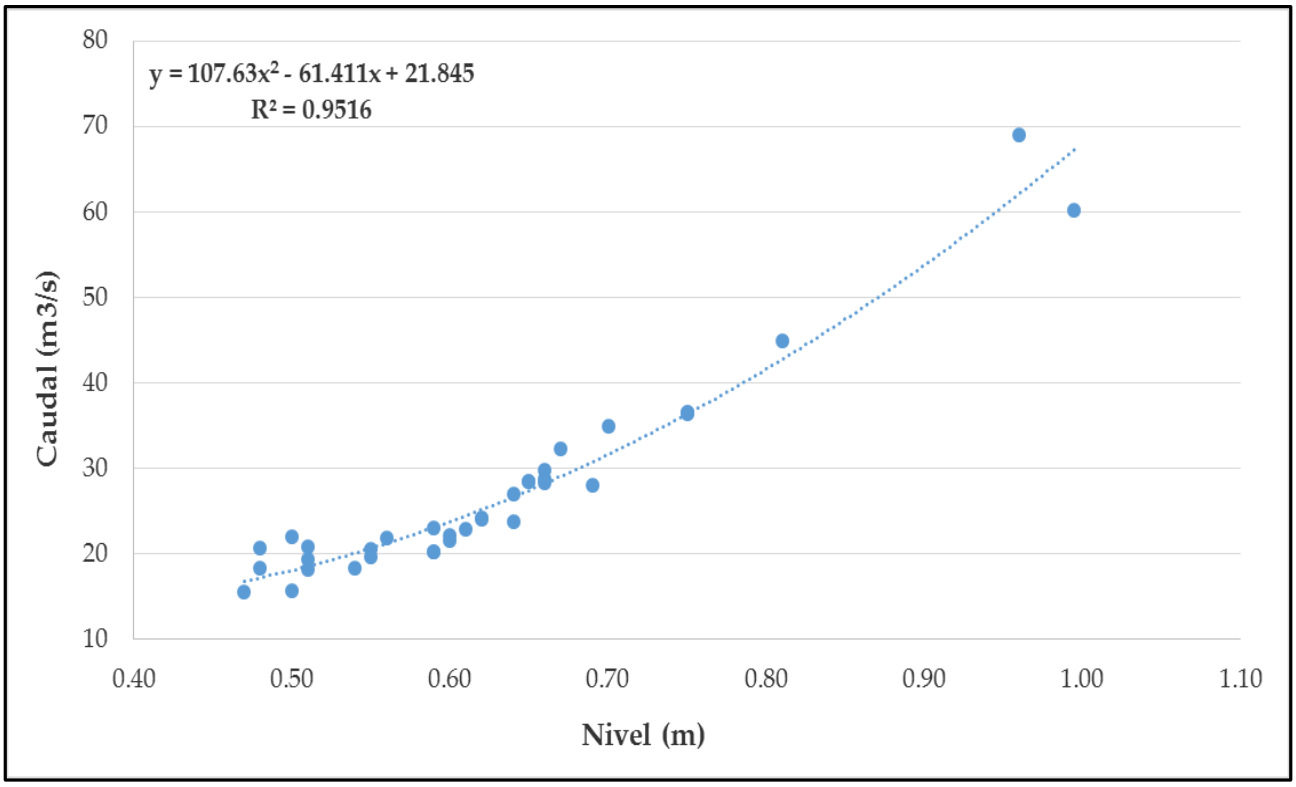


Figura Nº 46: curva H-Q (01-08-17 al 04-12-17)

- Para el segundo (05-12-17 al 20-04-18): en este período se produce el pico de las crecidas con un valor de **6.52m** que equivalió a **4252 m^3/s**

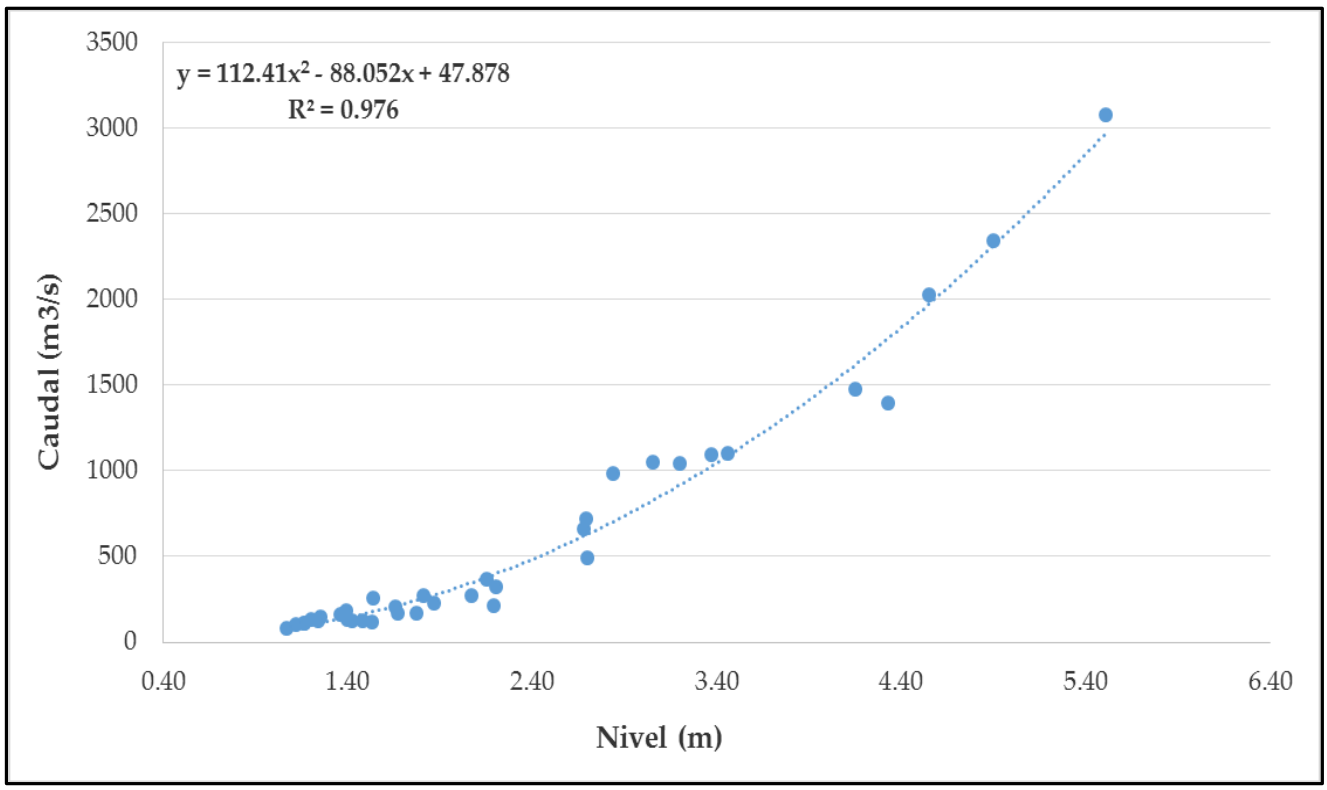


Figura Nº 47: curva H-Q (05-12-17 al 20-04-18)

- Para el tercer y último período (21-04-18 al 31-07-18):

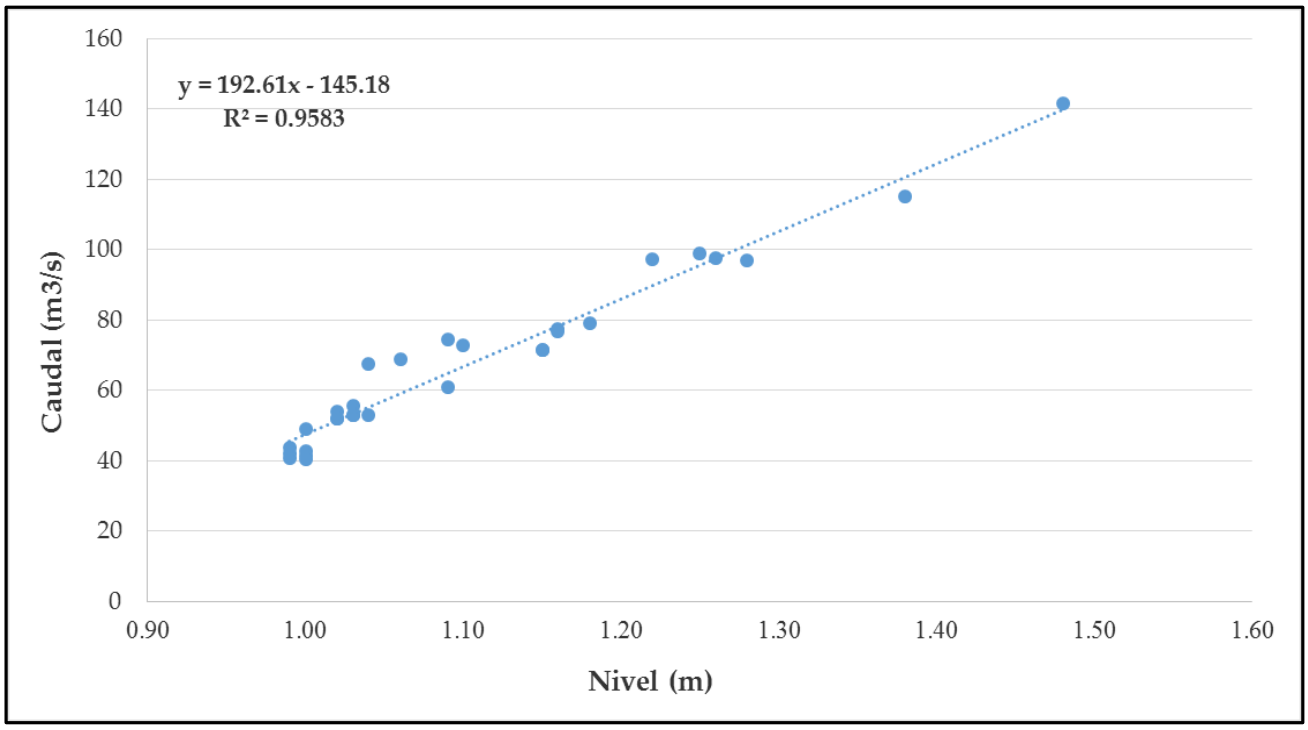


Figura Nº 48: curva H-Q (21-04-18 al 31-07-18)

La curva H-Q que se consideró para el cálculo de caudales medios de los demás años hidrológicos estudiados, es la que se muestra en la Figura Nº 49.

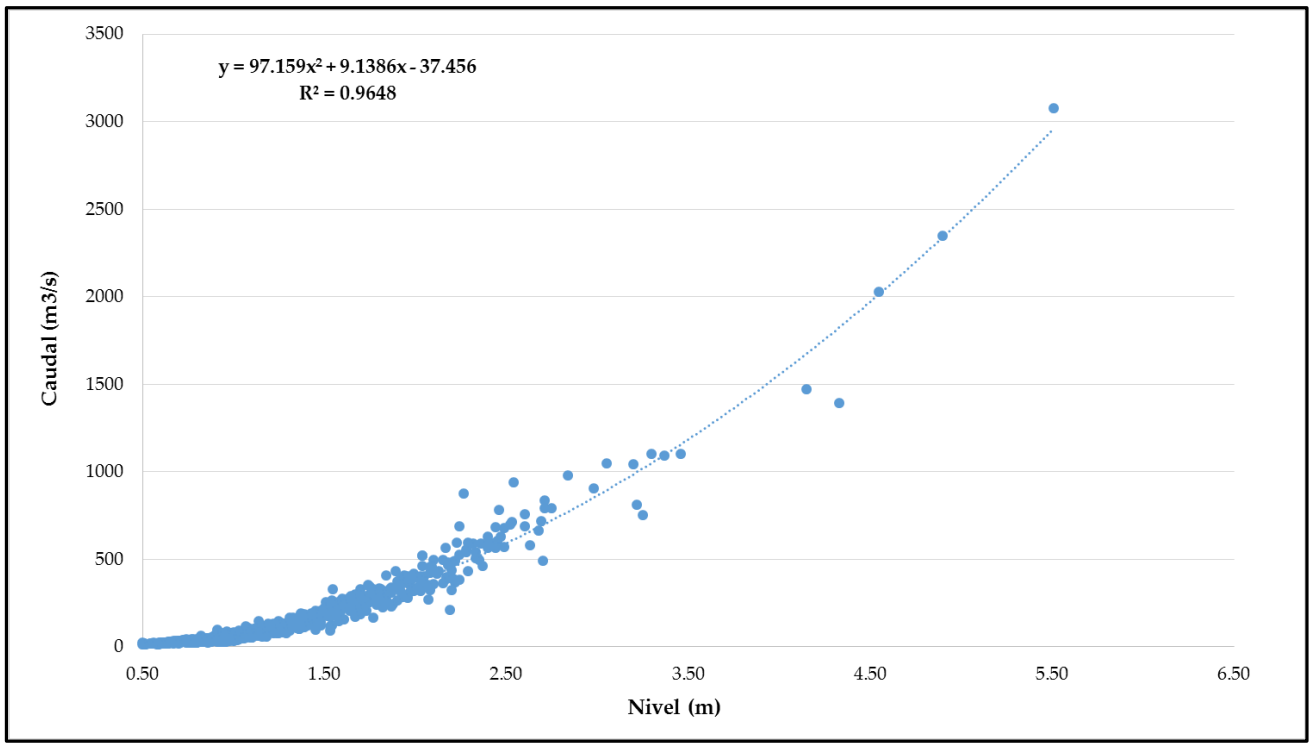


Figura Nº 49: curva H-Q (marzo 2004-julio 2018)

La Tabla Nº 12 muestra los niveles y caudales máximos en la estación Villa Montes.

Tabla Nº 12: Niveles y caudales máximos

Año hidrológico	Nivel Máximo (m)	Caudal máximo (m3/s)
2013-2014	5.85	**3341**
2014-2015	4.45	**1927**
2015-2016	3.34	**1077**
2016-2017	2.51	**598**
2017-2018	6.52	**4252**

*Como se observa en la Tabla Nº 12 y en la Figura Nº 49 para el año hidrológico **2017-2018** los caudales fueron los más altos respecto de los años hidrológicos de estudio.*

Al igual que en el caso de precipitaciones y niveles se realizó el análisis de frecuencia para caudales máximos (considerando niveles máximos), y el **33%** de los datos de un total de **27 años hidrológicos**[3] (no consecutivos) supera el caudal del año hidrológico 2017-2018. Para el período considerado en el cálculo de cuadales máximos, el máximo caudal fue de **11.879m³/s (1983-1984),** el mínimo caudal máximo fue de **567m³/s (1982-1983)** y el promedio de los caudales máximos fue de **3.920m³/s.**

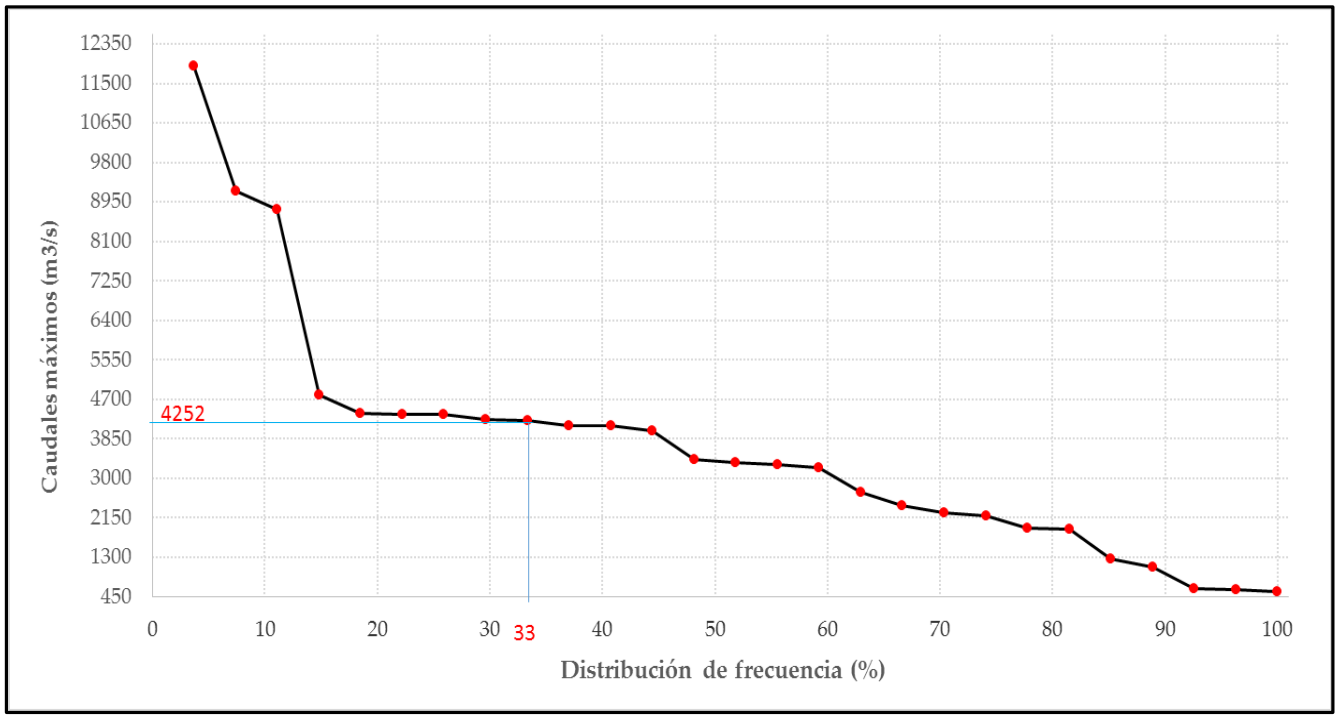


Figura Nº 50: Curva de distribución de frecuencia de cuadales máximos

[3] 1976-1991/2004-2018

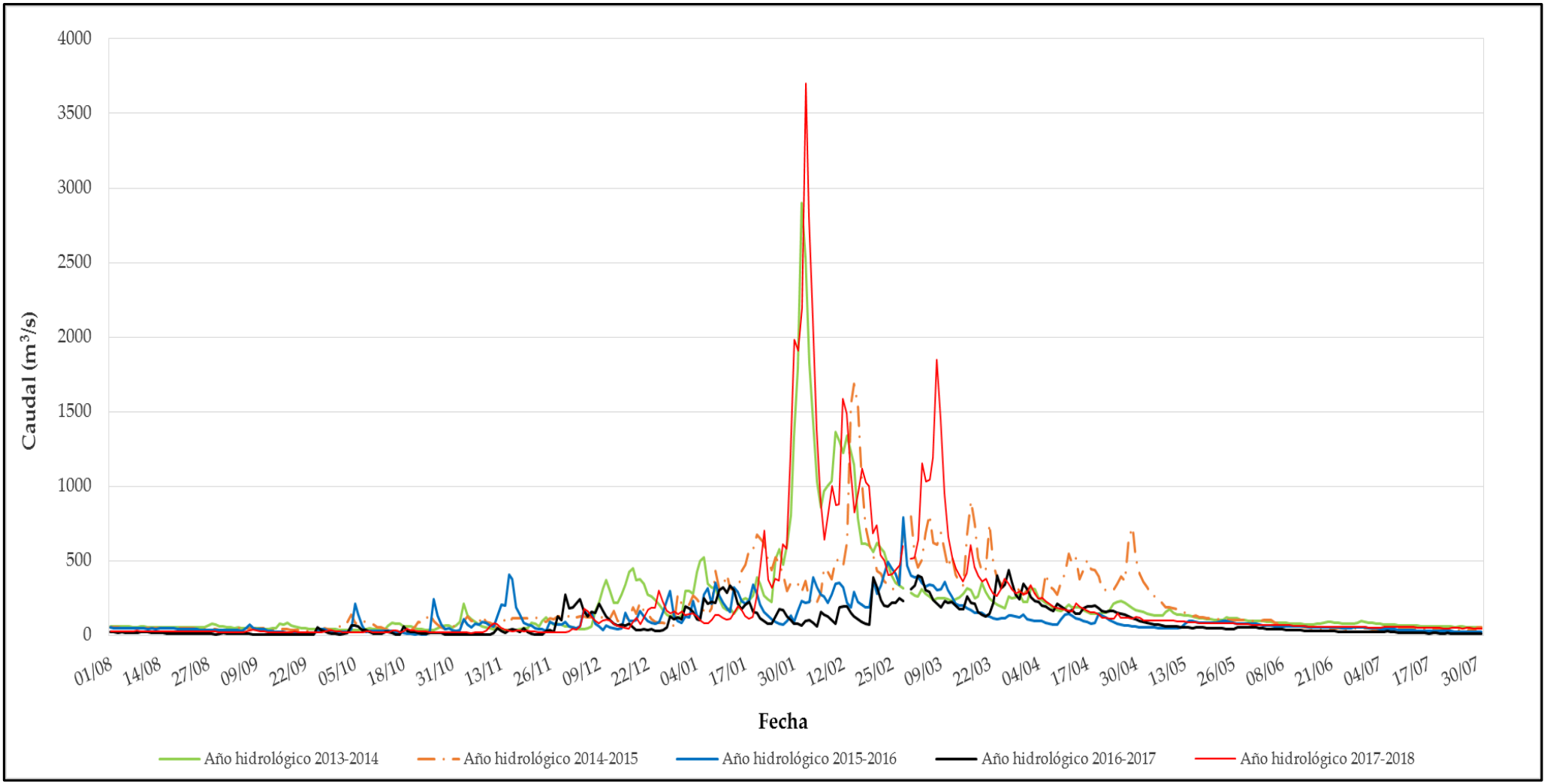


Figura Nº 51: Caudales medios diarios (m^3/s)

Estación Misión La Paz:

Análogamente a lo relizado en Villa Montes, para el cálculo de los caudales se analizaron tres períodos.

Como se aprecia en la Figura Nº 52, el primero desde el principio del año hidrológico hasta la iniciación de las crecidas (principios de diciembre de 2017), un segundo, entre dicha fecha y el 5 de abril de 2.018 (fin de las crecidas) y un tercero, a partir de dicha fecha hasta el final del año hidrológico.

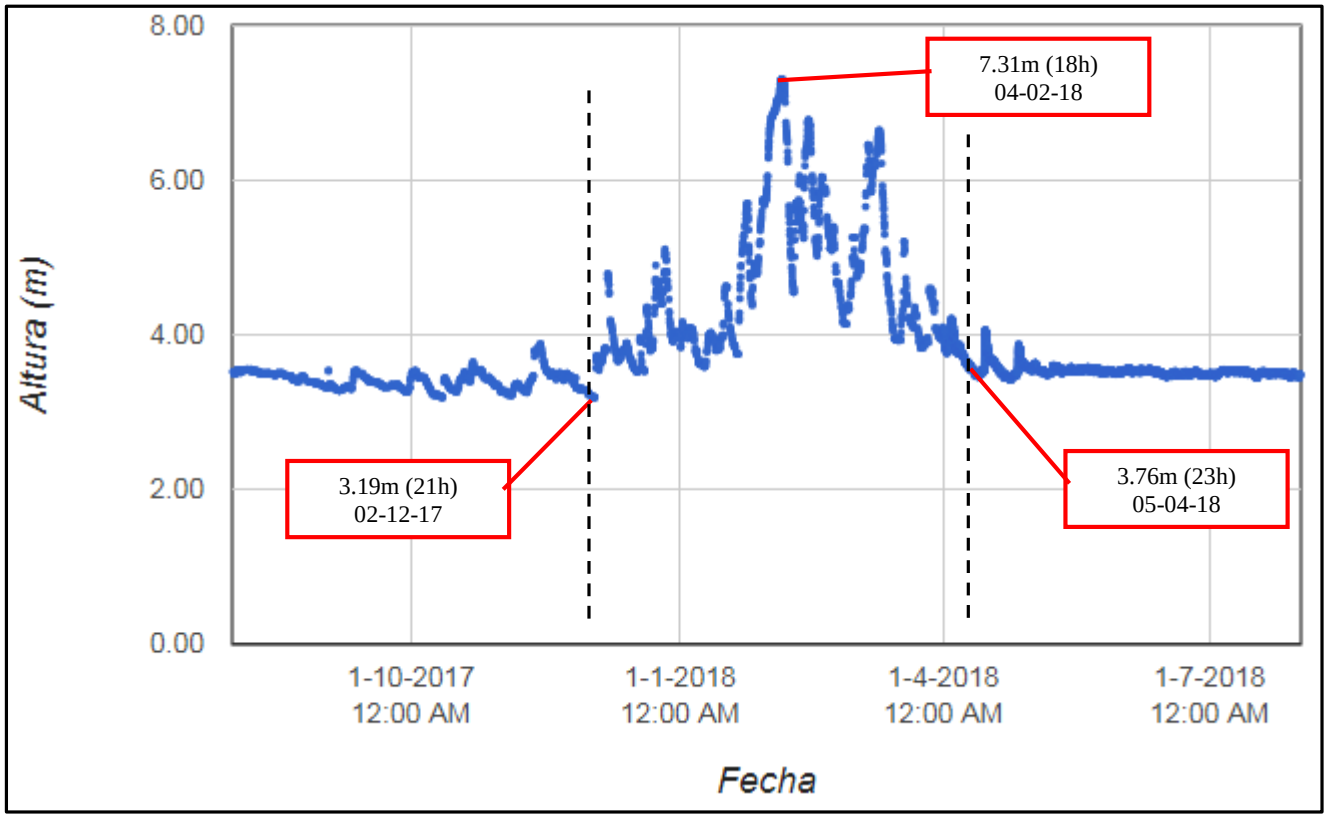


Figura Nº 52: hidrograma Misión La Paz (año hidrológico 2017-2018)

Se obtuvieron las siguientes curvas:

- Para el primer período (01-08-17 al 02-12-17):

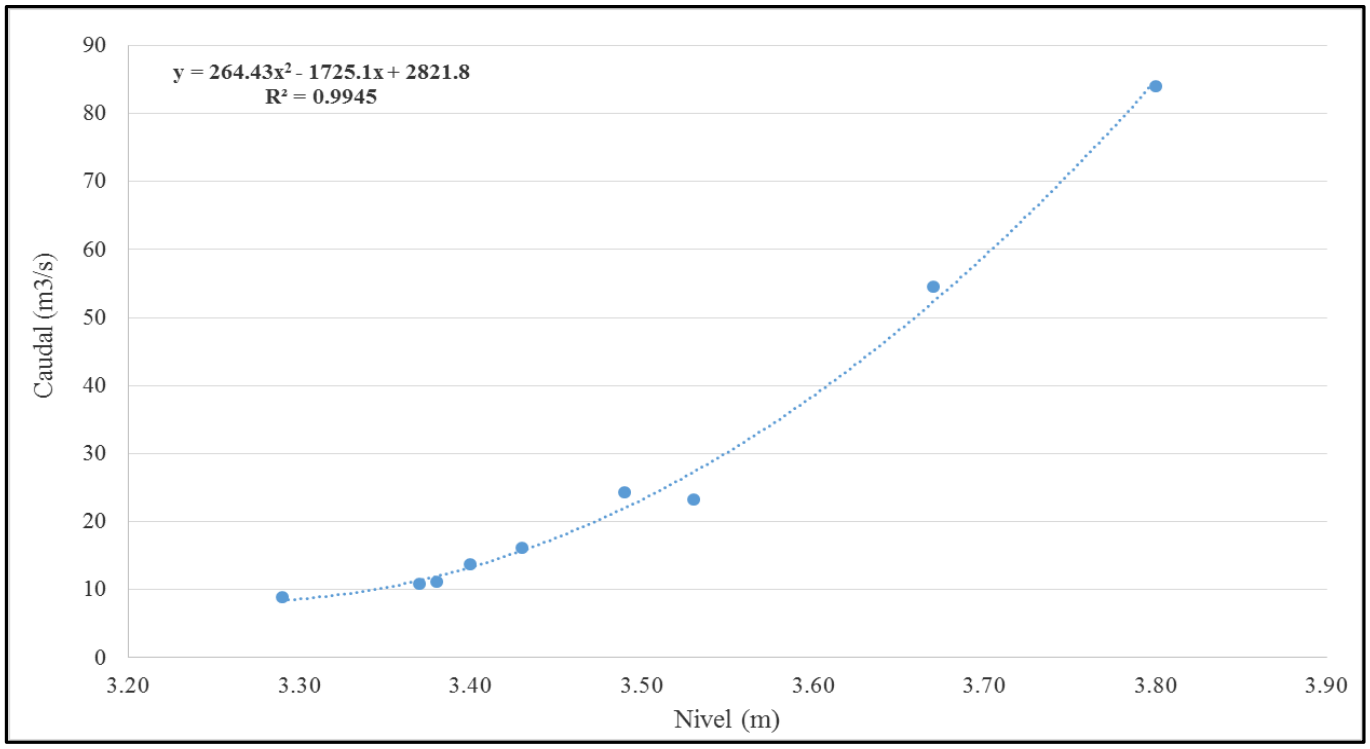


Figura Nº 53: curva H-Q (01-07-17 al 02-12-17)

- Para el segundo (03-12-17 al 04-04-18): en este período se produce el pico de las crecidas con un valor de **7.31,** que equivalió a **4254 m³/s**

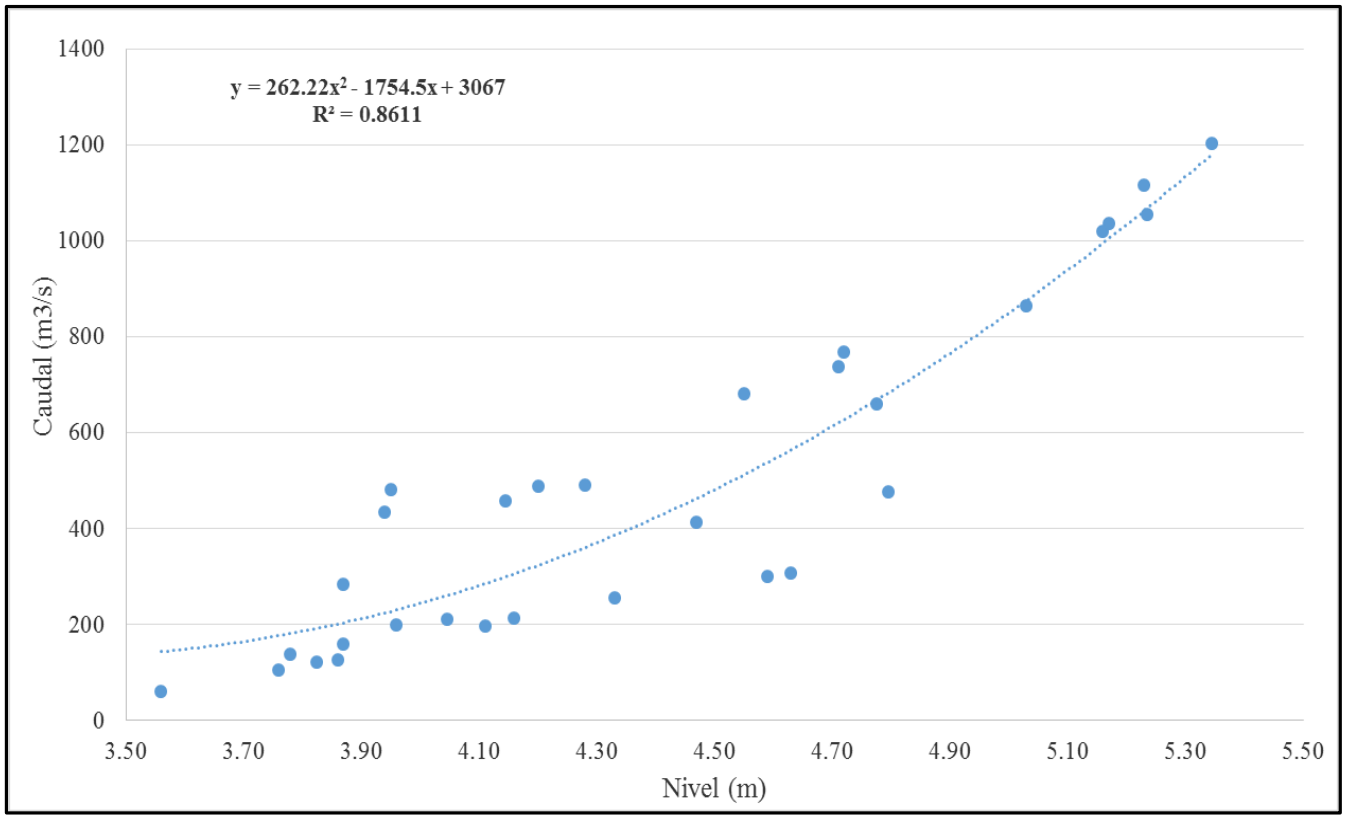


Figura Nº 54: curva H-Q (03-12-17 al 04-04-18)

- Para el tercer y último período (05-04-18 al 31-07-18):

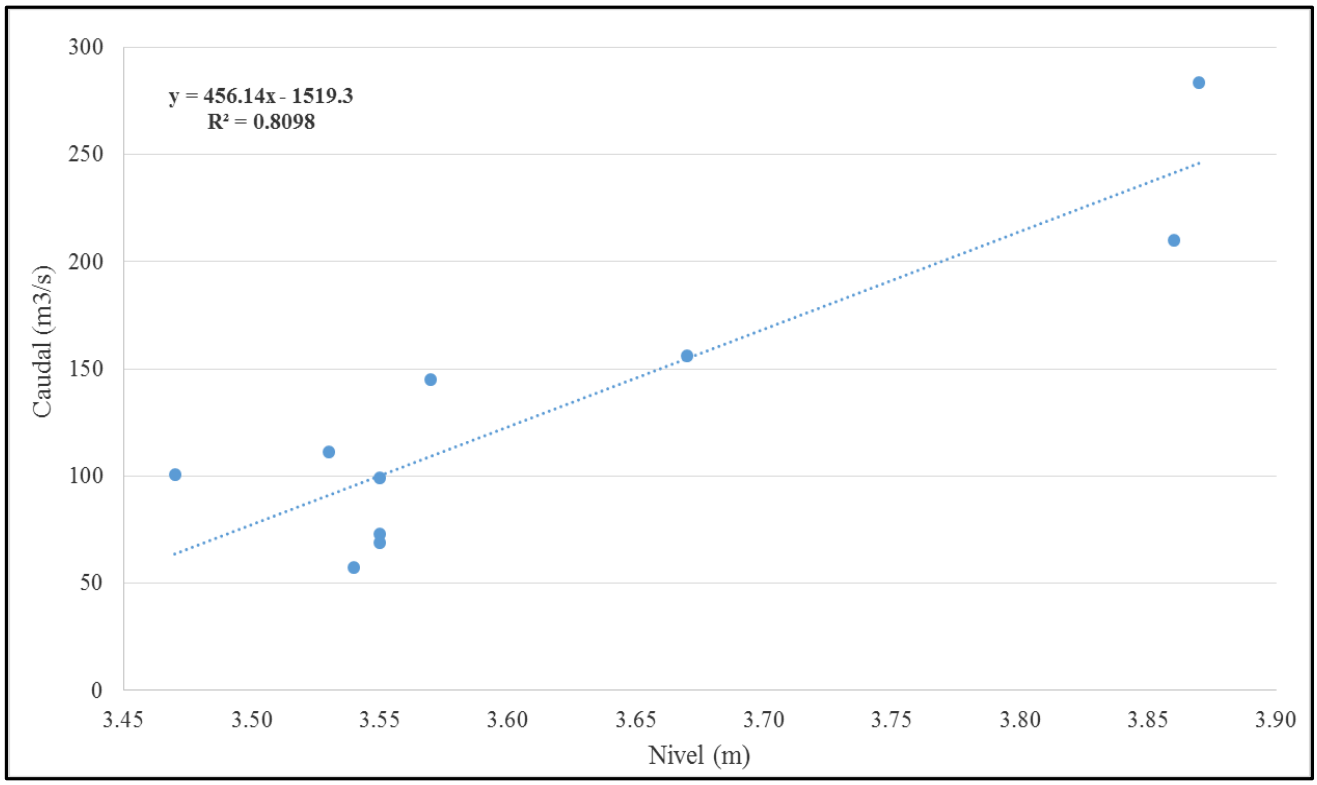


Figura Nº 55: curva H-Q (05-04-18 al 31-07-18)

El cálculo de curvas H-Q para cada año hidrológico estudiado se debe a lo mencionado anteriormente en cuando a su variación del fondo del cauce y perfiles transversales de aforo.

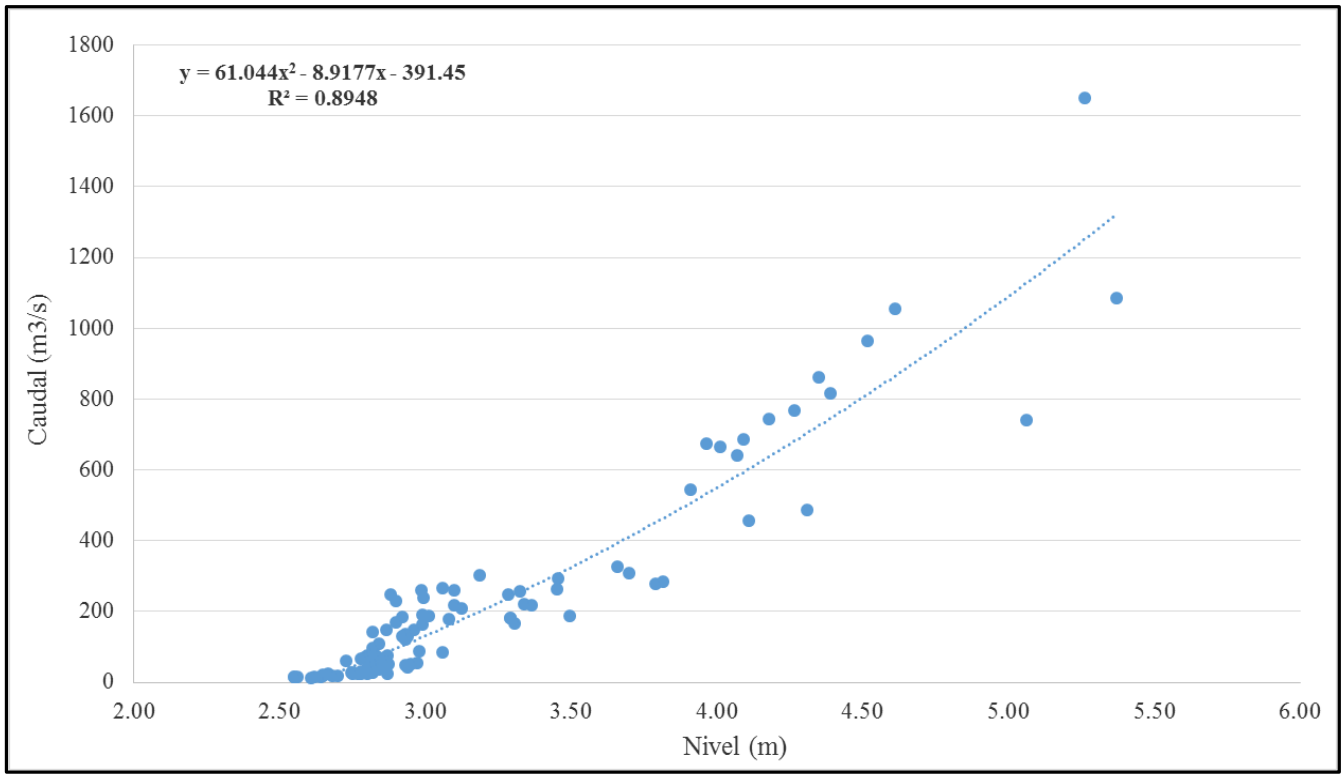


Figura Nº 56: Curva H-Q (agosto 2013-julio 2014)

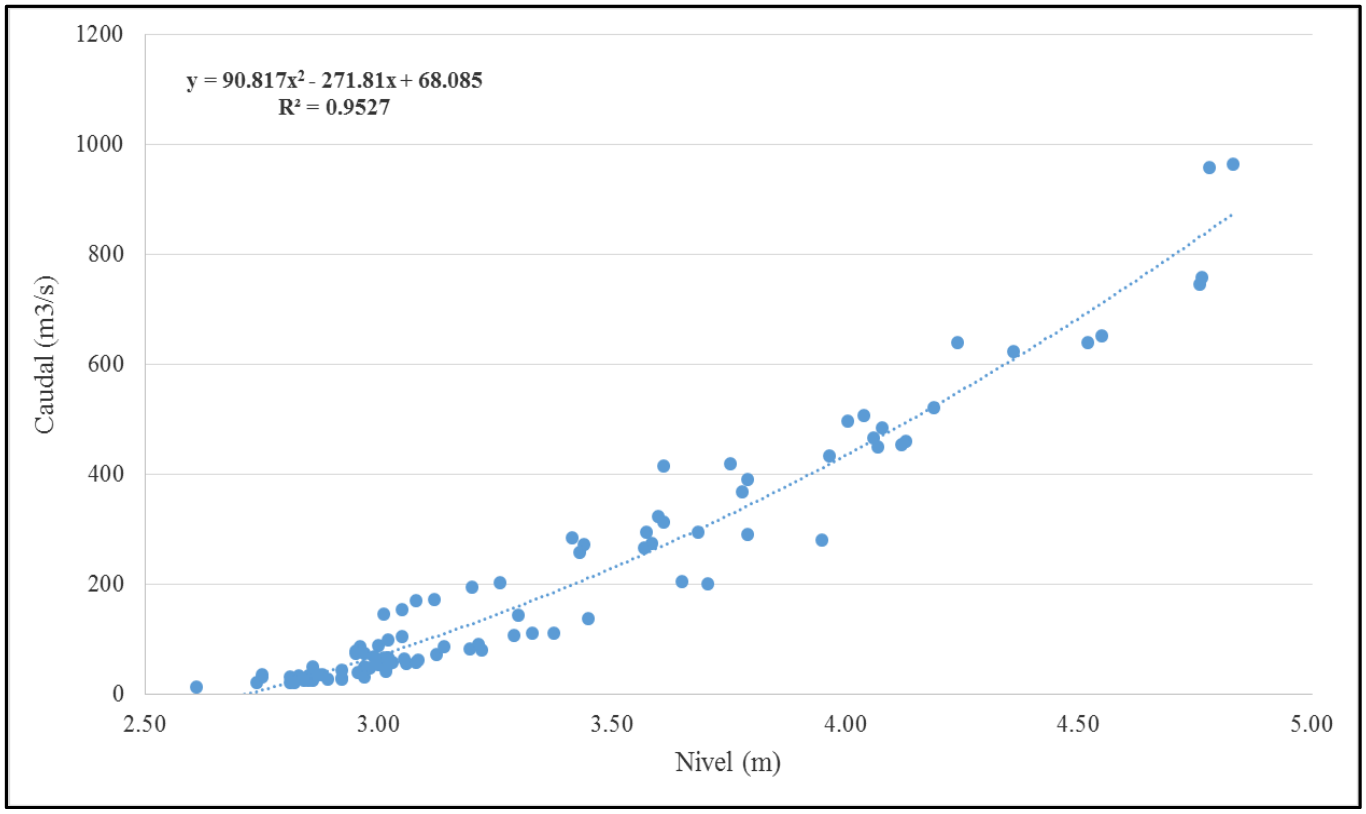


Figura Nº 57: Curva H-Q (agosto 2014-julio 2015)

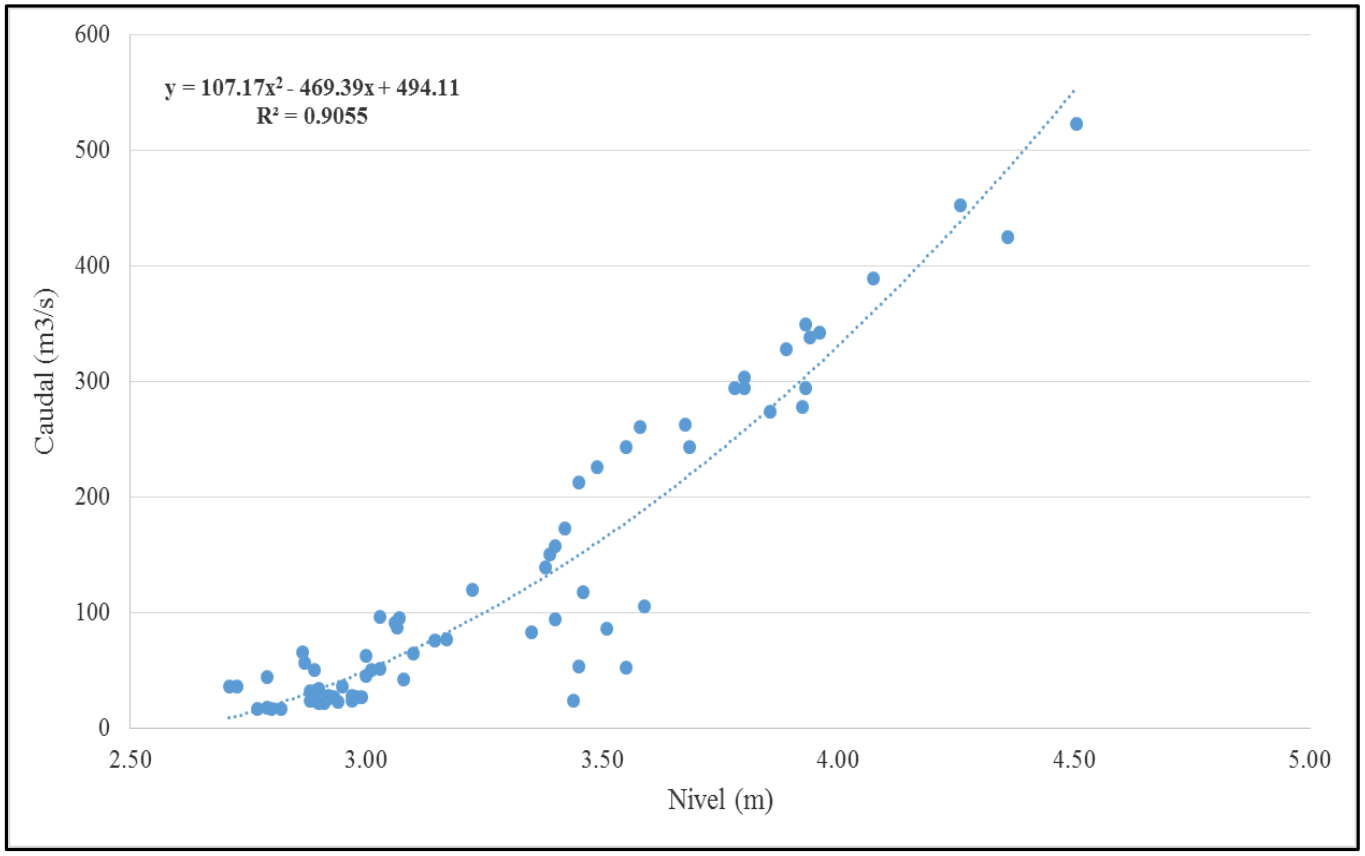


Figura Nº 58: Curva H-Q (agosto 2015-julio 2016)

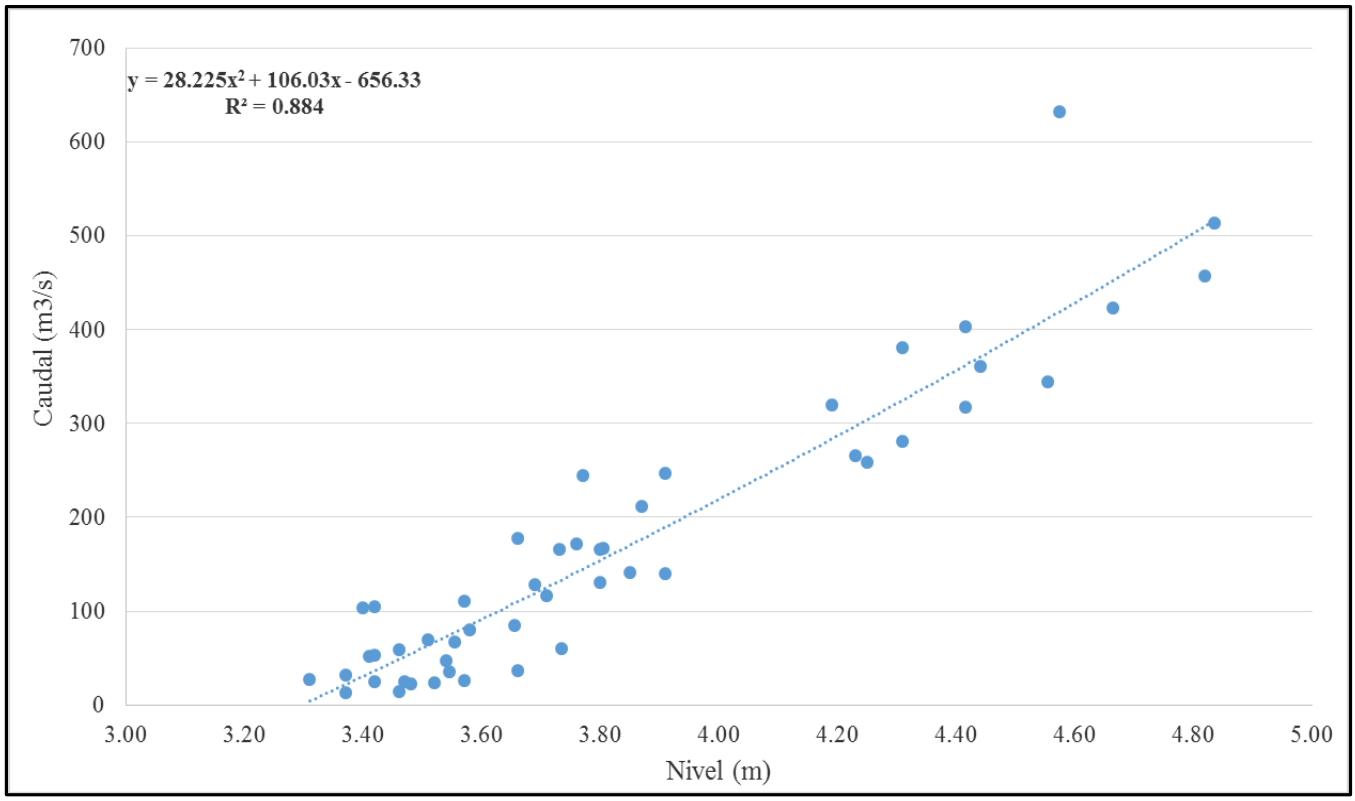


Figura Nº 59: Curva H-Q agosto 2016-julio 2017

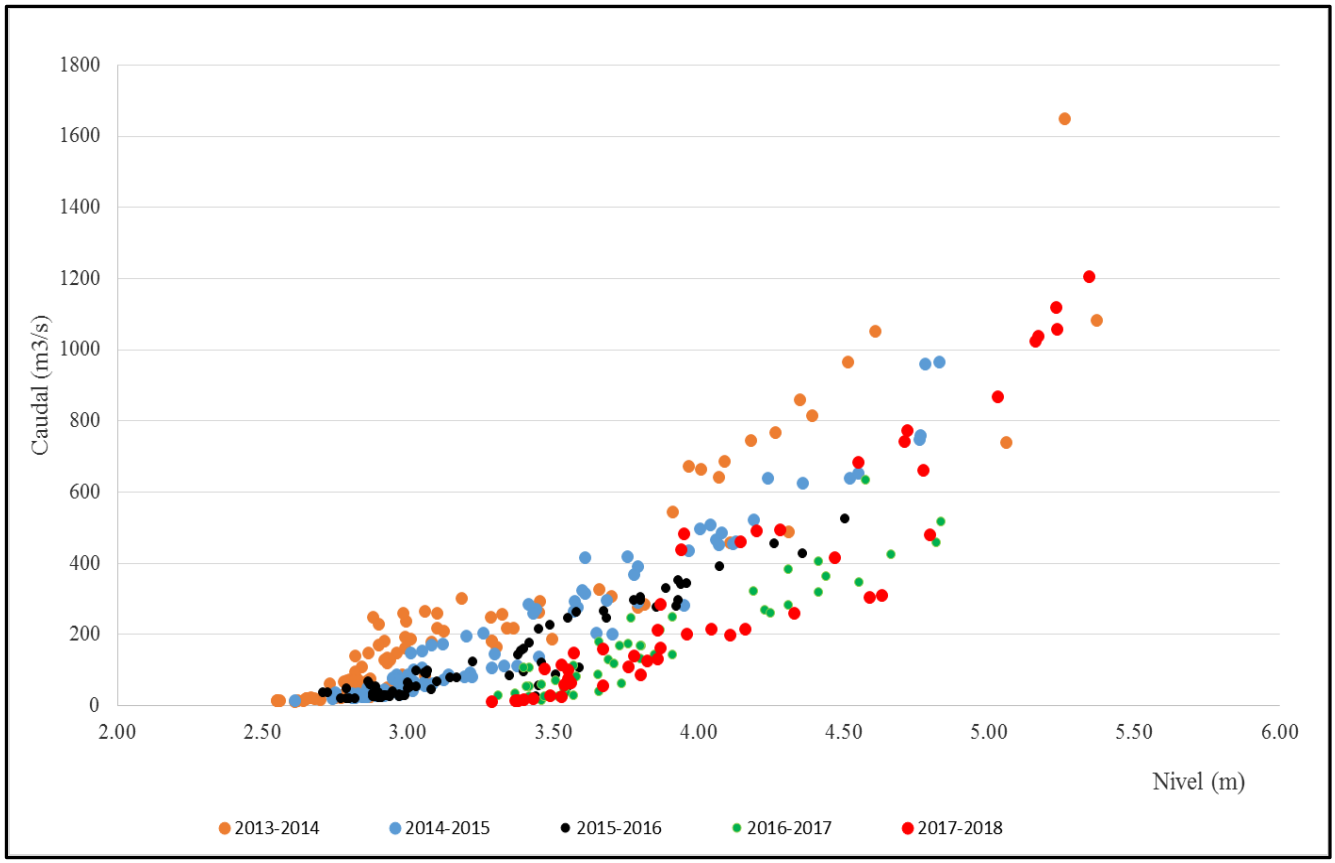


Figura Nº 60: aforos 2013-2018

Puede observarse en la Figura Nº 60 que para los años hidrológicos 2016-2017 y 2017-2018 la cantidad de aforos realizados en Misión La Paz fue menor que para el resto de los años hidrológicos analizados. En el año hidrológico 2015- 2016 se realizaron **71 aforos**, mientras que para los años hidrológicos 2016-2017 y 2017-2018, se realizaron **48 y 49 aforos**, respectivamente.

Además de ello, para aquellos años se debe notar que se acostumbraba aforar cuando la altura del río superaba, aproximadamente los **2.50m**, mientras que para 2016-2017 y 2017-2018, los aforos se iniciaron cuando se superó un nivel aproximado de **3.30m (puntos verdes y rojos)**.

La Tabla Nº 13 muestra los niveles y caudales máximos en la estación Misión La Paz.

Tabla Nº 13: Niveles y caudales máximos

Año hidrológico	Nivel Máximo (m)	Caudal máximo (m3/s)
2013-2014	6.53	**2153**
2014-2015	6.45	**2093**
2015-2016	5.70	**1301**
2016-2017	5.82	**917**
2017-2018	7.31	**4254**

Como se observa en la Tabla Nº 13 y en la Figura Nº 59, para el año hidrológico 2017-2018 los caudales fueron los más altos respecto de los años hidrológicos de estudio.

Al igual que en el caso la estación Villa Montes se realizó el análisis de frecuencia para caudales máximos (considerando niveles máximos), y el **5%** de los datos de un total de **38 años hidrológicos** [4](no consecutivos) supera el caudal del año hidrológico 2017-2018. Para el período considerado en el cálculo de cuadales máximos, el máximo caudal fue de **6.522m^3/s (1983-1984),** el mínimo caudal máximo fue de **611m^3/s (1982-1983)** y el promedio de los caudales máximos fue de **2.264m^3/s.**

[4] 1964-1965/1979-1986/1988-2001/2002-2018

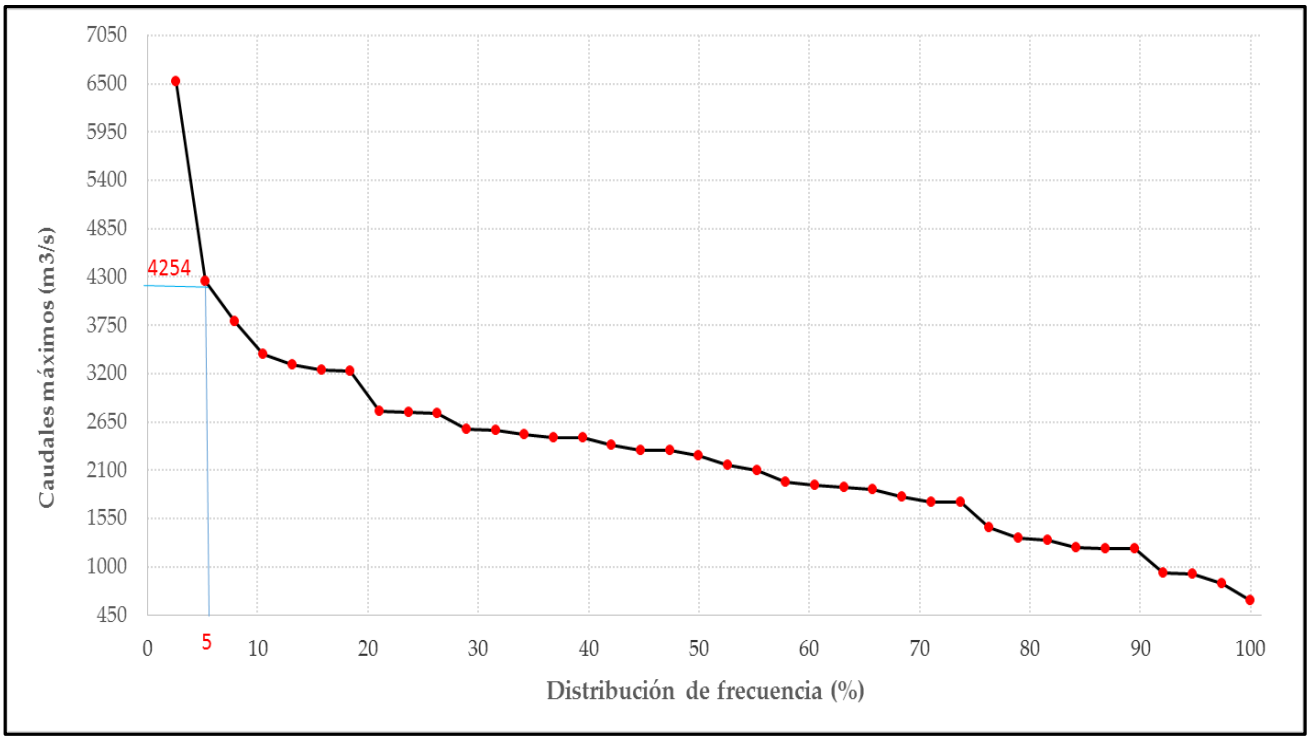


Figura Nº 61: Curva de distribución de frecuencia de cuadales máximos

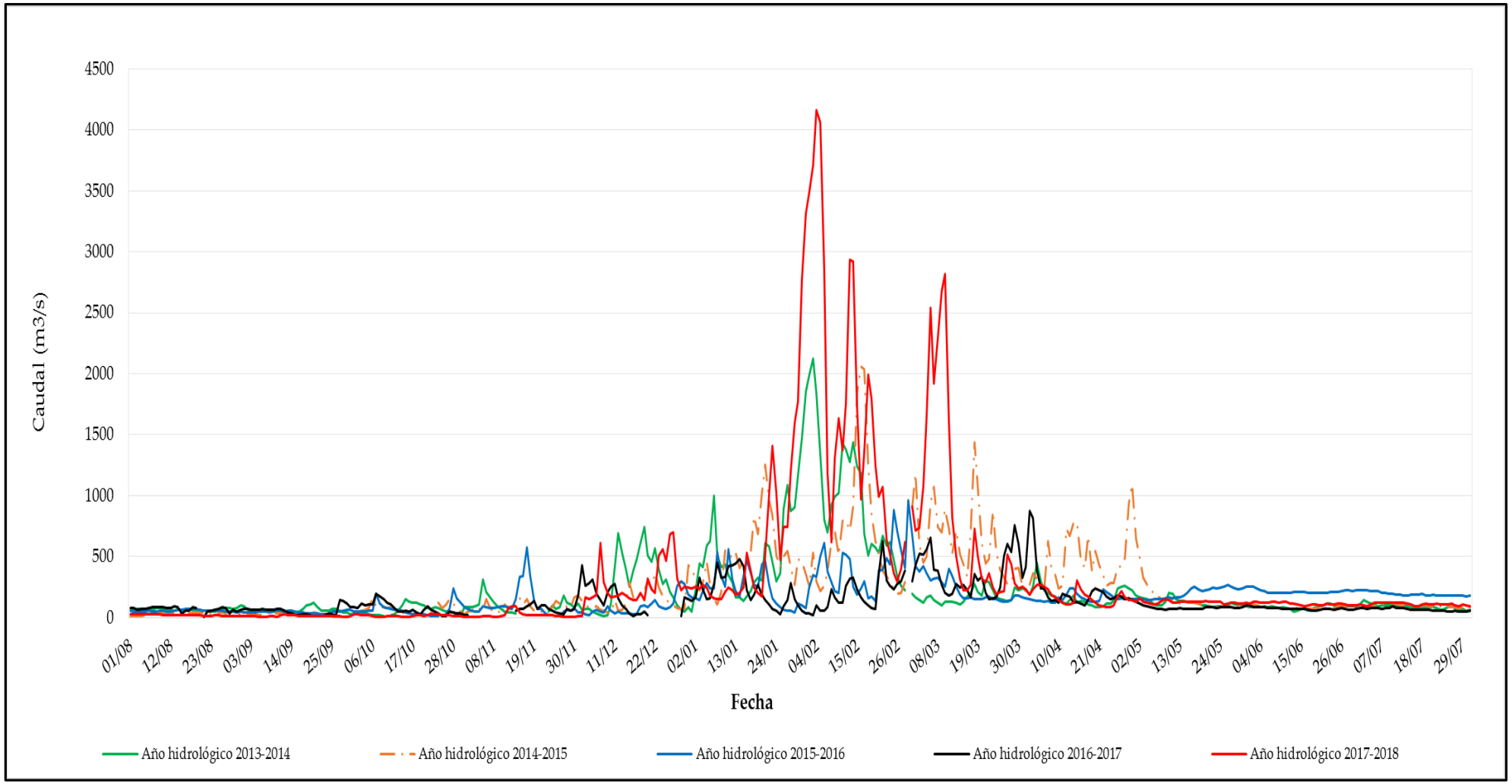


Figura Nº 62: Caudales medios diarios (m^3/s)

DERRAME

Con los caudales medios diarios calculados con las curvas H-Q mencionadas anteriormente, se obtuvieron los derrames diarios y los acumulados diarios, para los períodos analizados.

La Tabla Nº 14 muestra los derrames acumulados en la estación Villa Montes.

Tabla Nº 14: Derrame acumulado (hm^3)

Año hidrológico	Derrame acumulado (hm^3)
2013-2014	**6595**
2014-2015	**6491**
2015-2016	**3421**
2016-2017	**2759**
2017-2018	**6837**

Como se observa en la Tabla Nº 14, para el año hidrológico 2017-2018 el derrame acumulado fue fue el máximo respecto de los años hidrológicos analizados.

La Tabla Nº 15 muestra los derrames acumulados en la estación Misión La Paz

Tabla Nº 15: Derrame acumulado (hm^3)

Año hidrológico	Derrame acumulado (hm^3)
2013-2014	**6876**
2014-2015	**7700**
2015-2016	**5277**
2016-2017	**4128**
2017-2018	**10334**

(*) además deben considerarse derrames que ocurrieron por ambas márgenes

Como se observa en la Tabla Nº 15, para el año hidrológico 2017-2018 el derrame acumulado fue el máximo respecto de los años hidrológicos analizados.

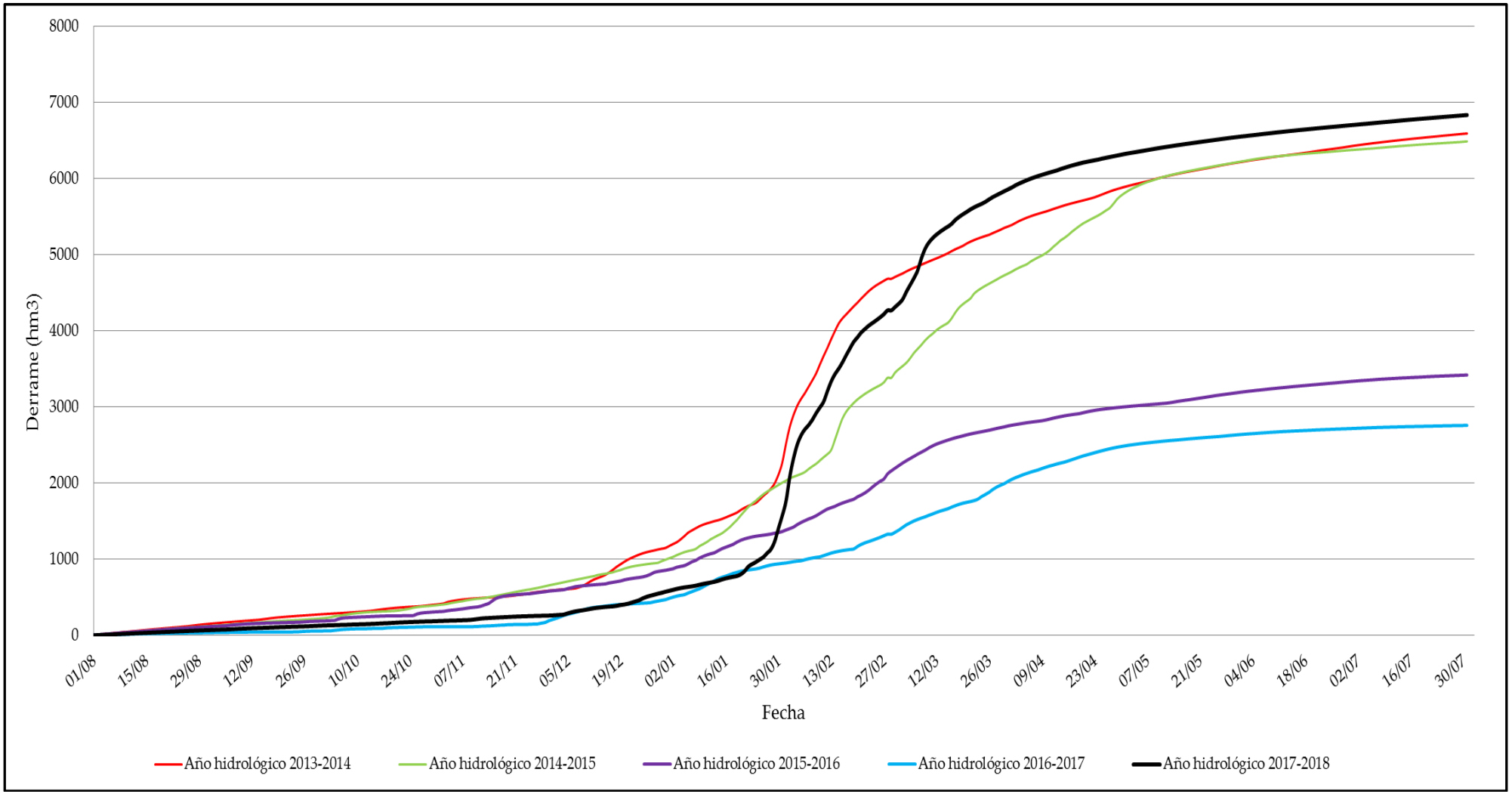


Figura Nº 63: Derrame acumulado (hm^3), Villa Montes

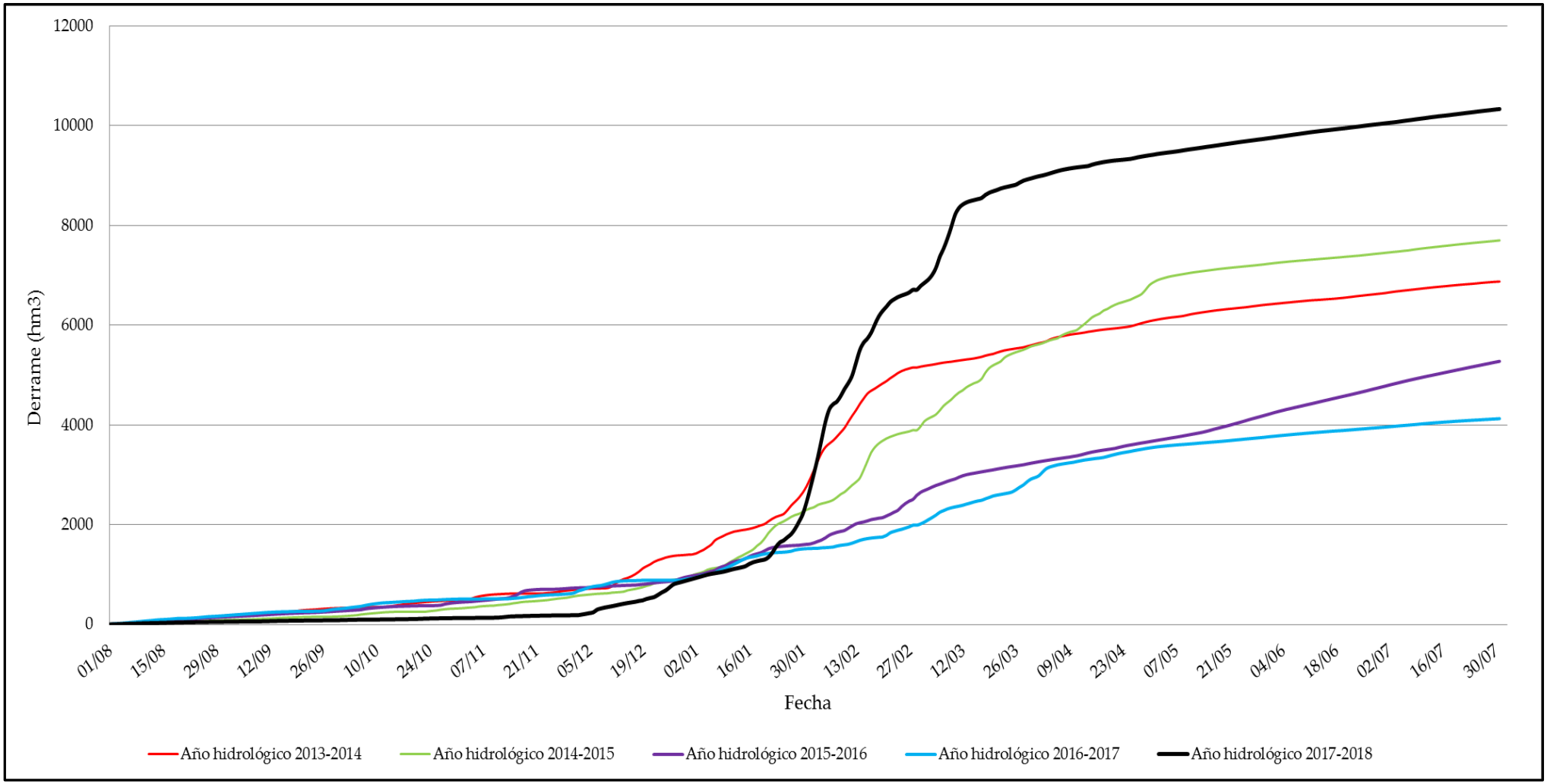


Figura Nº 64: Derrame acumulado (hm^3), Misión La Paz

Tabla Nº 16: Diferencia derrame acumulado (hm^3), Villa Montes – Misión La Paz

Año hidrológico	Derrame acumulado Villa Montes (hm^3)	Derrame acumulado Misión La Paz (hm^3)	Diferencia (hm^3)
2013-2014	6595	6876	-282
2014-2015	6491	7700	-1209
2015-2016	3421	5277	-1856
2016-2017	2759	4128	-1368
2017-2018	6837	10049	-3212

Respecto de los derrames, de acuerdo a la Tabla Nº 16, donde se observa la diferencia de derrame por cada año hidrológico entre las estaciones de Villa Montes y Misión La Paz, puede observarse que para todos los años hidrológicos analizados, los derrames registrados en la estación Misión La Paz fueron mayores a los registrados en la estación Villa Montes, lo cual probablemente pueda explicarse por las precipitaciones registradas entre ambas estaciones y/o aportes intermedios.

CONCLUSIONES

- Las precipitaciones registradas durante el verano del año hidrológico 2017-2018 han producido crecidas significativas en todas las estaciones de la cuenca del río Pilcomayo.
- Los valores de caudales en las estaciones Villa Montes y Misión La Paz son valores estimados a partir de curvas H-Q. Es importante recordar que dichas curvas fueron construídas y ajustadas a partir de valores de caudales aforados en aguas bajas-medias. Las mismas podrán mejorarse sustancialmente en la medida que se dispongan de ***caudales medidos*** con precisión para niveles superiores a los mostrados en las figuras correspondientes a las curvas H-Q.
- Se hace evidente la necesidad de ***medir*** el perfil transversal de la sección y la velocidad del agua en los picos de crecidas, especialmente en la estación Misión La Paz, cuyo fondo es altamente dependiente de las velocidades del agua y su capacidad erosiva. Para ello no son válidos (ni seguros para los observadores) los métodos convencionales de aforo desde el carro/vagoneta con molinete o flotadores.
- Se recomienda la difusión, generalización y adopción en la cuenca de métodos no invasivos tales como corridas de equipos medidores de velocidades del agua, profundidades y secciones mojadas por efecto doppler (ADCP) o fotovelocimetría. Para ello, tanto la Dirección Ejecutiva, como los organismos colaborantes (SENAMHI, EVARSA) deben tener recursos humanos, materiales y económicos disponibles en monto, forma y tiempo, para poder realizar campañas extraordinarias de aforos de precisión en los meses de verano. Asimismo, contar con la asistencia

de organismos académicos y del sistema de ciencia y técnica de los países para la utilización de equipos, programas y procedimientos sofisticados así como la capacitación de su personal.