



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 2018-2019

Unidad de Monitoreo y  
Centro de Datos

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

2020





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 2018-2019

### Contenido

INTRODUCCIÓN .....	2
PLUVIOMETRÍA .....	4
TOTALES .....	4
FRECUENCIAS .....	7
NIVELES.....	<u>1415</u>
VILLA MONTES.....	<u>1415</u>
MISIÓN LA PAZ.....	<u>2122</u>
CAUDALES.....	<u>3034</u>
VILLA MONTES.....	<u>3034</u>
MISIÓN LA PAZ.....	<u>3637</u>
FONDO DEL CAUCE.....	<u>4344</u>
VILLA MONTES.....	<u>4344</u>
MISIÓN LA PAZ.....	<u>4849</u>
TRASLADO DE CRECIDAS .....	<u>5354</u>
DERRAMES.....	<u>5556</u>
CONCLUSIONES .....	<u>6064</u>



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

## 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](http://www.pilcomayo.net)

Se han comparado los registros de precipitación, lecturas de escala, aforos líquidos y derrames del año hidrológico 2018-2019, con sus similares de los años hidrológicos 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018 desde agosto a julio.

Se han analizado los registros de 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)*



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



Figura Nº 1: Mapa de la cuenca. Estaciones de monitoreo



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

## PLUVIOMETRÍA

### TOTALES

Estación	Año Hidrológico	Acumulado Anual (mm)
<b>Talula normal<sup>(1)</sup></b>		<b>599.80</b>
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
Talula	2018-2019	745.5
<b>Viña Quemada normal<sup>(1)</sup></b>		<b>462.20</b>
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
Viña Quemada	2018-2019	446.7
<b>Potosí Aeropuerto normal<sup>(1)</sup></b>		<b>343.50</b>
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
Potosí-Ciudad	2018-2019	322.9
<b>Palca Grande normal<sup>(1)</sup></b>		<b>334.80</b>
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
Palca Grande	2018-2019	317.1
<b>El Puente normal<sup>(1)</sup></b>		<b>307.90</b>
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
El Puente	2018-2019	336.4
<b>Villa Montes (bombeo) normal<sup>(1)</sup></b>		<b>882.00</b>
Villa Montes (bombeo)	2013-2014	816.30
Villa Montes (bombeo)	2014-2015	1118.60
Villa Montes (bombeo)	2015-2016	627.10



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

<i>Villa Montes (bombeo)</i>	2016-2017	1080.20
<i>Villa Montes (bombeo)</i>	2017-2018	1201.60
<i>Villa Montes (bombeo)</i>	2018-2019	1159.7
<b><i>Yacuiba Aeropuerto<sup>(2)</sup></i></b>		<b>1037,6</b>
<i>Yacuiba Aeropuerto</i>	2013-2014	1427.10
<i>Yacuiba Aeropuerto</i>	2014-2015	1188.60
<i>Yacuiba Aeropuerto</i>	2015-2016	692.90
<i>Yacuiba Aeropuerto</i>	2016-2017	1106.40
<i>Yacuiba Aeropuerto</i>	2017-2018	1433.90
<i>Yacuiba Aeropuerto</i>	2018-2019	1194.7
<b><i>Misión La Paz normal<sup>(3)</sup></i></b>		<b>771.60</b>
<i>Misión La Paz</i>	2013-2014	748.10
<i>Misión La Paz</i>	2014-2015	777.50
<i>Misión La Paz</i>	2015-2016	415.00
<i>Misión La Paz</i>	2016-2017	735.00
<i>Misión La Paz</i>	2017-2018	1034.30
<i>Misión La Paz</i>	2018-2019	716.2
<b><i>Tartagal normal<sup>(4)</sup></i></b>		<b>1019.79</b>
<i>Tartagal</i>	2013-2014	1080.70
<i>Tartagal</i>	2014-2015	1068.30
<i>Tartagal</i>	2015-2016	685.60
<i>Tartagal</i>	2016-2017	774.60
<i>Tartagal</i>	2017-2018	878.60
<i>Tartagal</i>	2018-2019	1088
<b><i>Mariscal Estigarribia normal<sup>(5)</sup></i></b>		<b>777.00</b>
<i>Mcal. Estigarribia</i>	2013-2014	1086.40
<i>Mcal. Estigarribia</i>	2014-2015	707.50
<i>Mcal. Estigarribia</i>	2015-2016	566.30
<i>Mcal. Estigarribia</i>	2016-2017	778.70
<i>Mcal. Estigarribia</i>	2017-2018	716.80
<i>Mcal. Estigarribia</i>	2018-2019	771.2
<b><i>Pozo Colorado normal<sup>(5)</sup></i></b>		<b>1099.30</b>
<i>Pozo Colorado</i>	2013-2014	1363.70
<i>Pozo Colorado</i>	2014-2015	1188.50
<i>Pozo Colorado</i>	2015-2016	1253.20
<i>Pozo Colorado</i>	2016-2017	1422.20
<i>Pozo Colorado</i>	2017-2018	1172.30
<i>Pozo Colorado</i>	2018-2019	1518
<b><i>General Bruguez normal<sup>(6)</sup></i></b>		<b>1213.90</b>
<i>Gral. Bruguez</i>	2013-2014	1662.90
<i>Gral. Bruguez</i>	2014-2015	1292.10
<i>Gral. Bruguez</i>	2015-2016	1489.60
<i>Gral. Bruguez</i>	2016-2017	1680.30
<i>Gral. Bruguez</i>	2017-2018	1232.50
<i>Gral. Bruguez</i>	2018-2019	1787.7



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

<b>Asunción Aeropuerto Internacional Silvio Pettrossi normal<sup>(5)</sup></b>		<b>1333.00</b>
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
Asunción AI SP	2018-2019	1698.3

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

- (<sup>1</sup>)Valores informados por SENAMHI (2008)  
 (<sup>2</sup>) Valor promedio con 14 años de datos  
 (<sup>3</sup>)Valores informados por la SIPH (RA)(estación operada por EVARSA)  
 (<sup>4</sup>)Valores informados por SMN  
 (<sup>5</sup>)Valor informado (DINAC) (período 1971-2000)  
 (<sup>6</sup>)Valor informado (DINAC) (período 1992-2000)

Como se observa en la Tabla Nº 1, en las estaciones Gral. Bruguez, Pozo Colorado, Villa Montes y Asunción se registraron en el año hidrológico 2018-2019 precipitaciones por encima de la normal en 47, 38, 32 y 27% respectivamente.

En el caso de la estaciones Viña Quemada, Potosí Aeropuerto, Palca Grande y Misión la Paz, se registraron, para el año hidrológico 2018-2019, precipitaciones por debajo de la normal variando entre 4% y 7%.

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.

Estación	Talula	Viña Quemada	Potosí Ciudad	Palca Grande	El Puente	VillaMontes (bombeo)	Yacuiba Aerop.	Misión La Paz	Precipitación 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	211.5
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
2018-2019	469.4	232.1	336.5	225.1	252.3	717.7	571.7	335.7	357.76

Tabla Nº 2: precipitación media cuenca

Como se observa en la Tabla Nº 2, la precipitación media sobre la cuenca alta en el cuatrimestre diciembre – enero – febrero – marzo del año hidrológico 2018-2019 fue menor que la del año hidrológico anterior (2017-2018).



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

## FRECUENCIAS

Se realizó el análisis de frecuencia de las precipitaciones registradas en el año hidrológico 2018-2019 con los datos históricos con que se cuenta en la Base de Datos. Los resultados se muestran en las en la Tabla N° 3 y en las curvas siguientes:

Estación	% datos superiores a 2018-2019	Cantidad de años hidrológicos
Talula	16%	44 (desde 1975-2019)
Viña Quemada	29%	14 (desde 2005-2019)
Potosí Aeropuerto	67%	18 (desde 2001-2019)
Palca Grande	38%	8 (desde 2009-2010/ 2012-2019)
El Puente	29%	7 desde (2012-2019)
Villa Montes	20%	10 desde (2009-2019)
Yacuiba	27%	11 desde (2008-2019)
Misión La Paz	41%	54 desde (1965-2019)
Tartagal	19%	58 desde (1956-1957/1961-1969/1970-2019)
Mariscal Estigarribia	52%	65 desde (1950-1955/1957-1966/1968-2019)
Pozo Colorado	10%	31 desde (1971-1976/1984-1986/1990-1992/1995-2008/2010-2019)
<b>General Bruguez</b>	<b>Mayor registro</b>	<b>27 desde (1992-2019)</b>
Asunción Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi	18%	51 desde (1960-1961/1966-1969/1972-2019)

**Tabla N° 3: frecuencia de precipitaciones**

Como se observa en la Tabla N° 3 para el caso de la estación General Bruguez, el registro de precipitaciones del año 2018-2019 fue el mayor de la serie de datos históricos disponible.

Se aclara que los años hidrológicos en algunas estaciones 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.



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

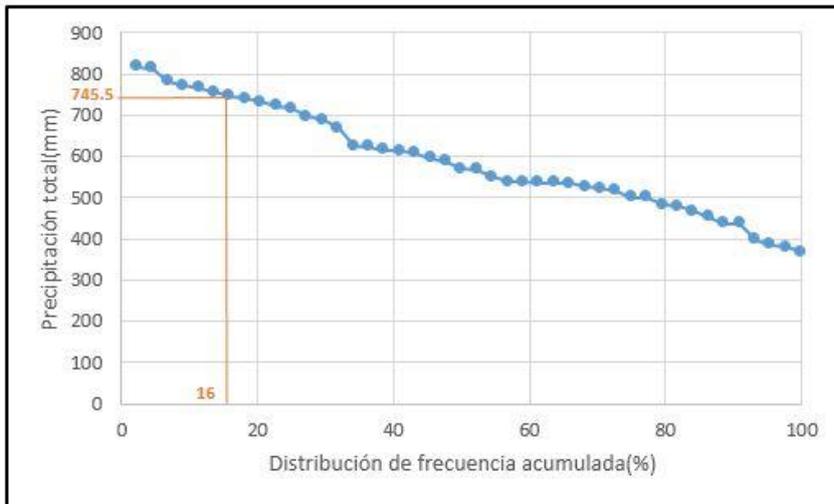


Figura Nº 2: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Talula (precipitación total 2018-2019, 745.50mm)

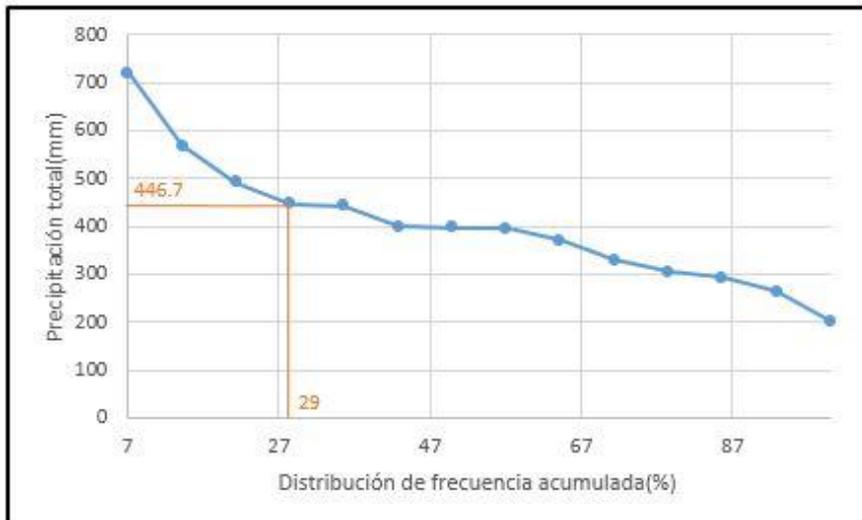


Figura Nº 3: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Viña Quemada (precipitación total 2018-2019, 446.7mm)



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

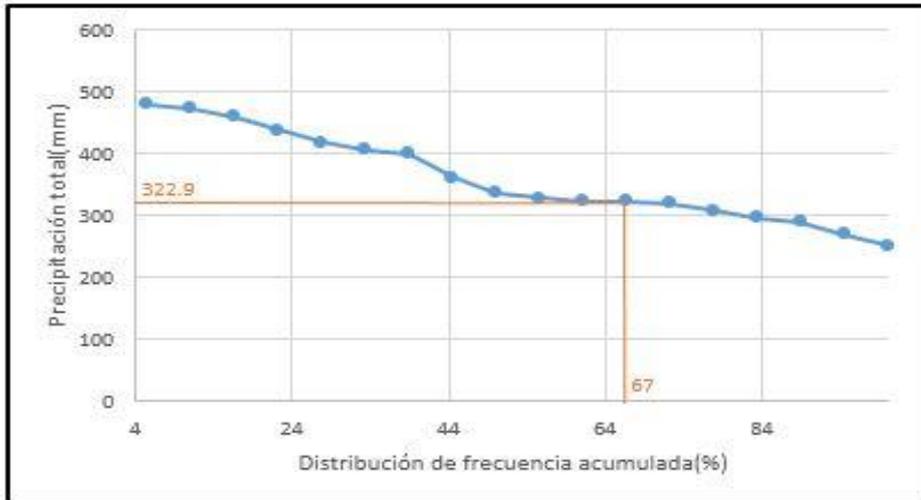


Figura Nº 4: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Potosí Aeropuerto (precipitación total 2018-2019, 322.9mm)

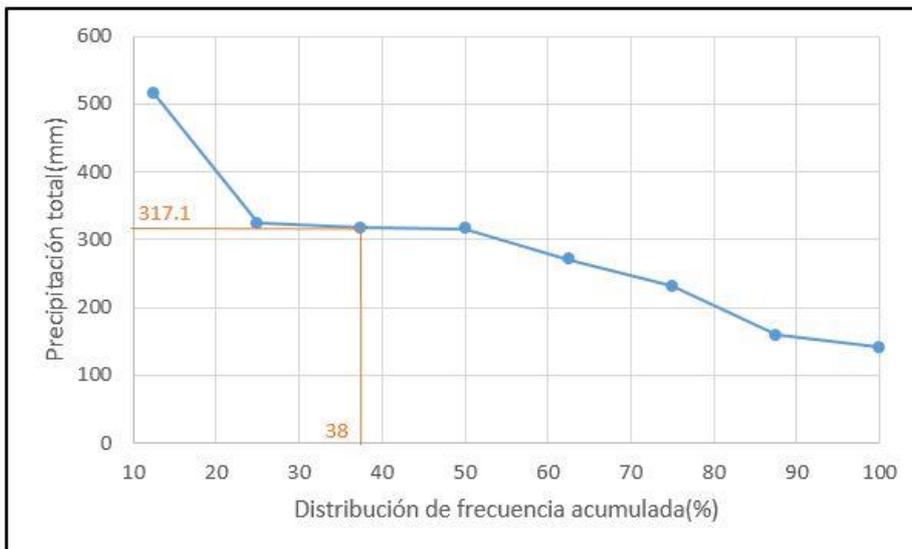


Figura Nº 5: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Palca Grande (precipitación total 2018-2019, 317.1m)



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

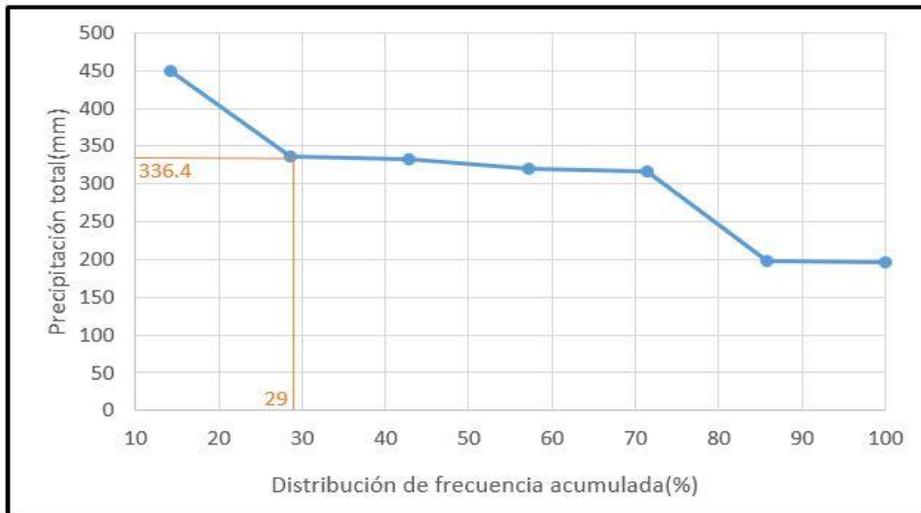


Figura Nº 6: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, El Puente (precipitación total 2018-2019, 336.4m)

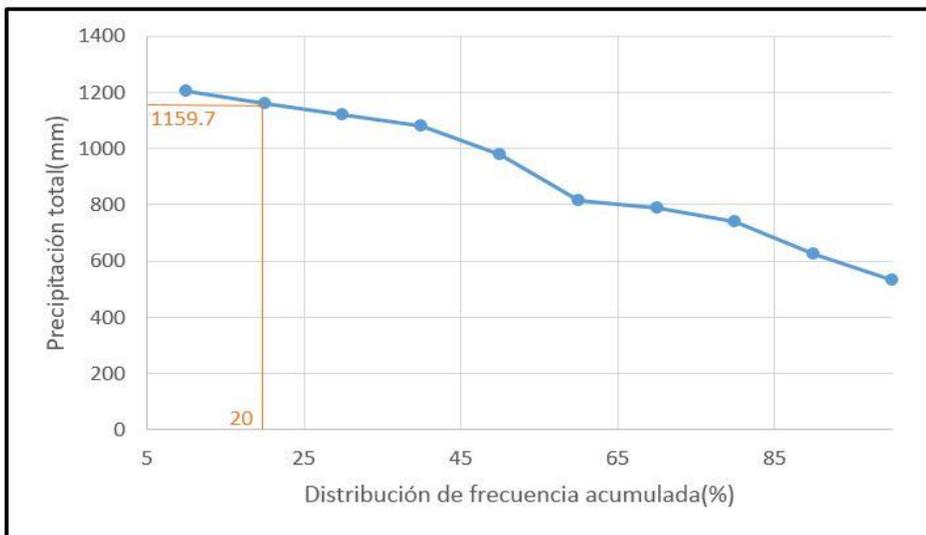


Figura Nº 7: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Villa Montes (precipitación total 2018-2019, 1159.70mm)



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

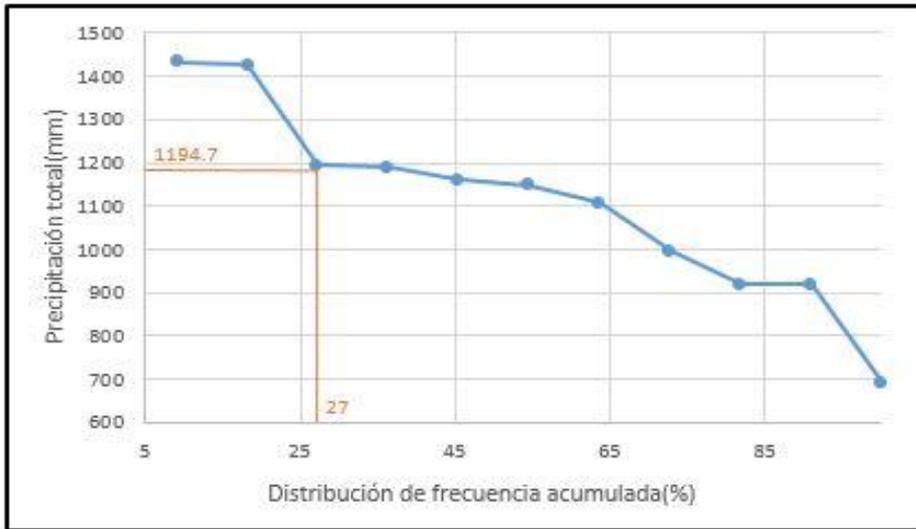


Figura N° 8: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Yacuiba (precipitación total 2018-2019, 1194.70mm)

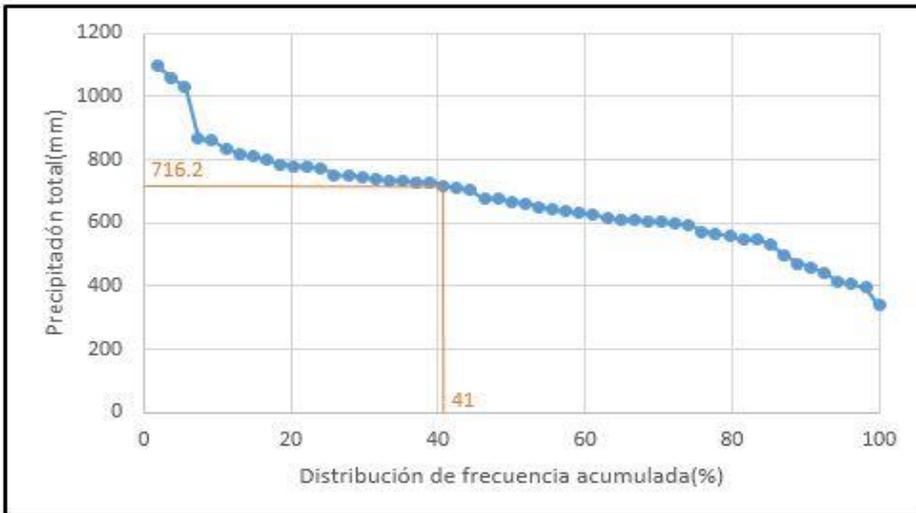


Figura N° 9: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Misión La Paz (precipitación total 2018-2019, 716.2mm)



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

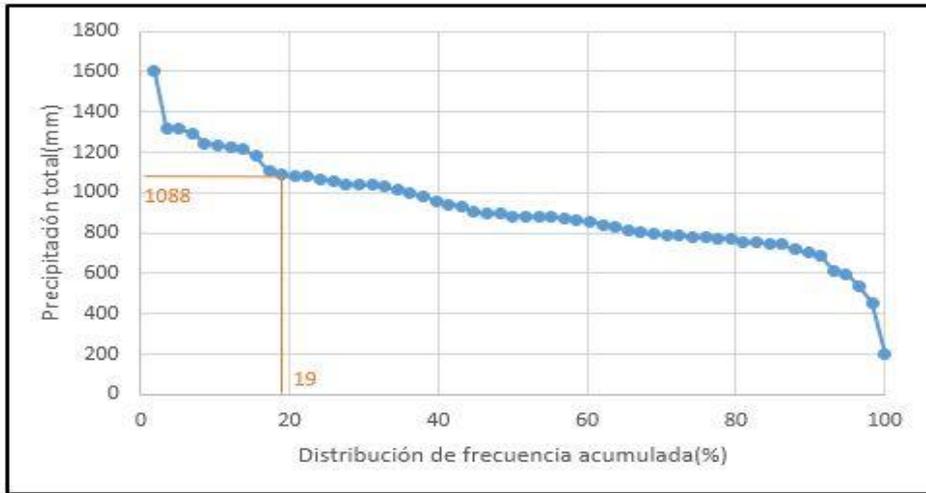


Figura Nº 10: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Tartagal (precipitación total 2018-2019, 1088mm)

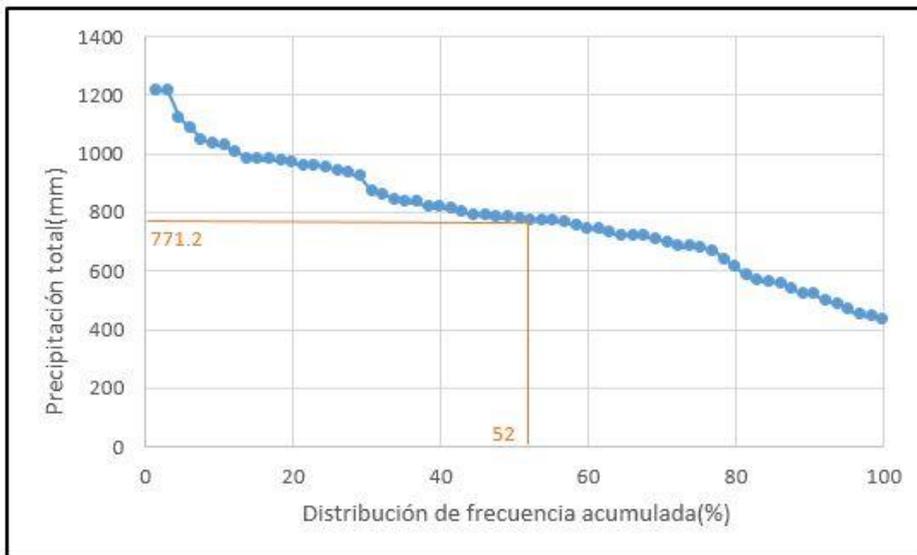


Figura Nº 11: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Mcal Estigarribia (precipitación total 2018-2019, 771.2mm)



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

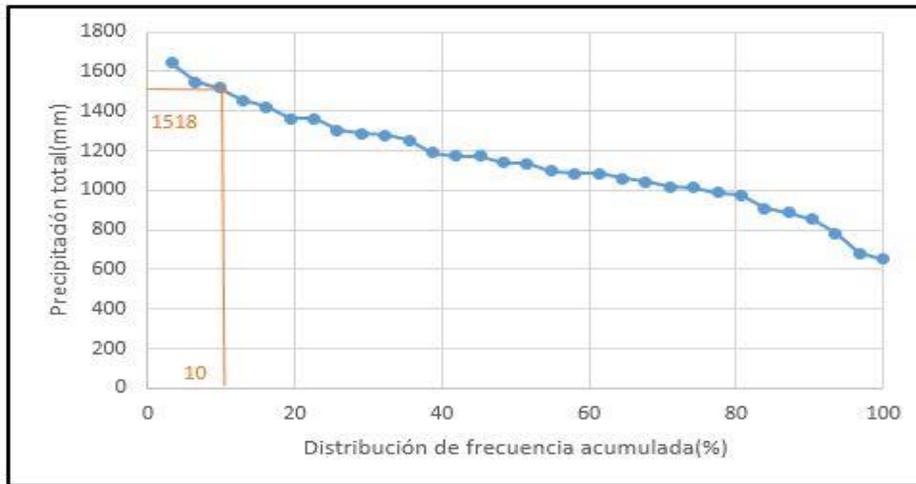


Figura Nº 12: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Pozo Colorado (precipitación total 2018-2019, 1518mm)

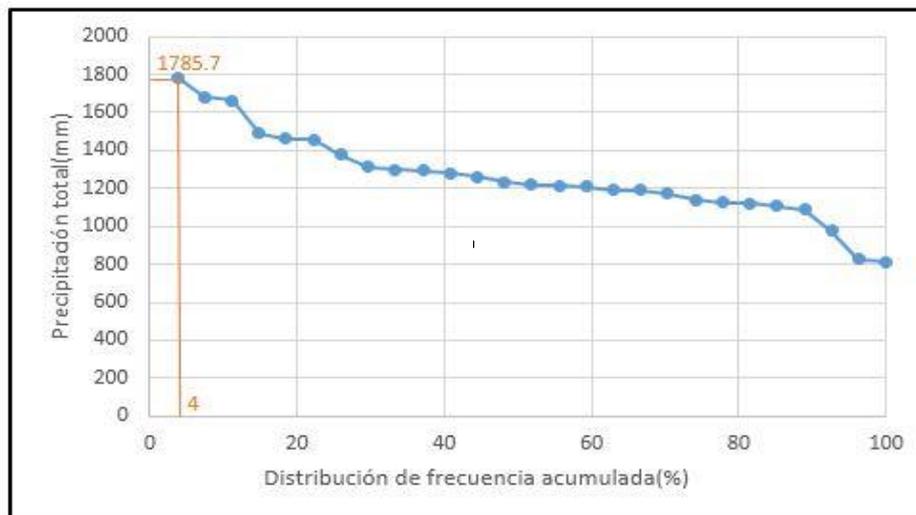


Figura Nº 13: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Gral. Bruguez (precipitación total 2018-2019, 1785.7mm)



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

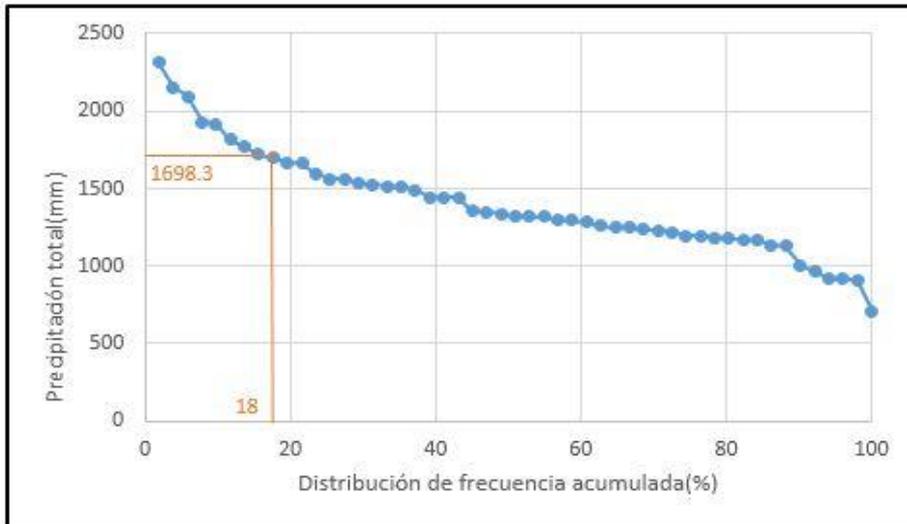


Figura N° 14: Curva de distribución de frecuencia de la precipitación total anual, Asunción Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi (precipitación total 2018-2019, 1698.3mm)

## NIVELES

### VILLA MONTES

Como se observa en la Figura N° 15, los niveles medios diarios en la estación Villa Montes para el año hidrológico 2018-2019 son superiores a los niveles medios diarios de los otros años hidrológicos analizados.



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

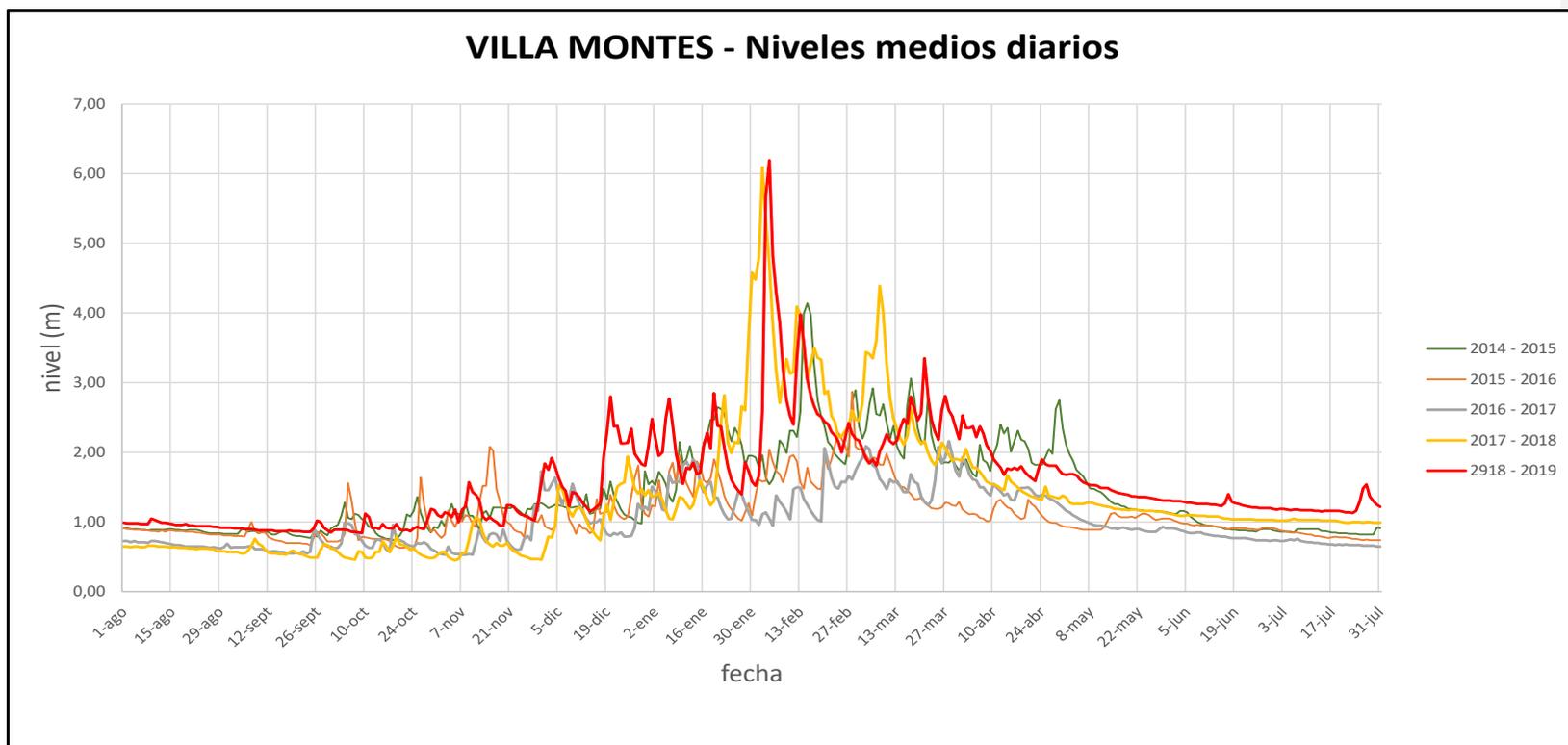


Figura Nº 15: Niveles medios diarios (m), Villa Montes



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

El año hidrológico 2018 – 2019. Niveles instantáneos.

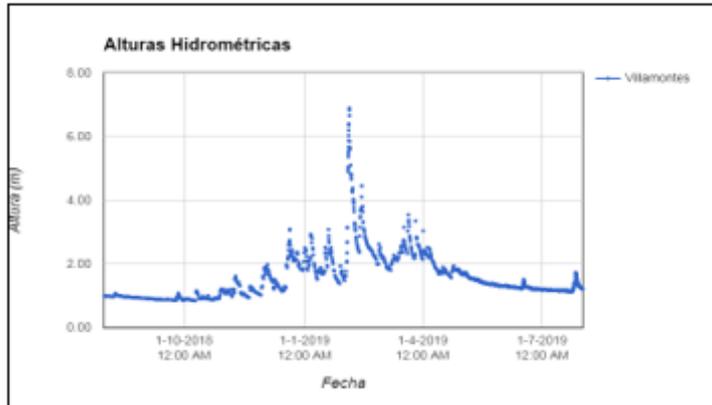


Figura Nº 16: Niveles instantaneos VillaMontes (m)

Hasta mediados del mes de diciembre, los niveles se mantuvieron por debajo de los 2 m, y los del fondo en el tallweg alrededor de -2.5 m. Los mismos tuvieron pequeños movimientos como consecuencia de las primeras crecida que se iniciaron a fines de noviembre llegando a niveles cercanos a -2.0 m (Figuras Nos 16 y 17).

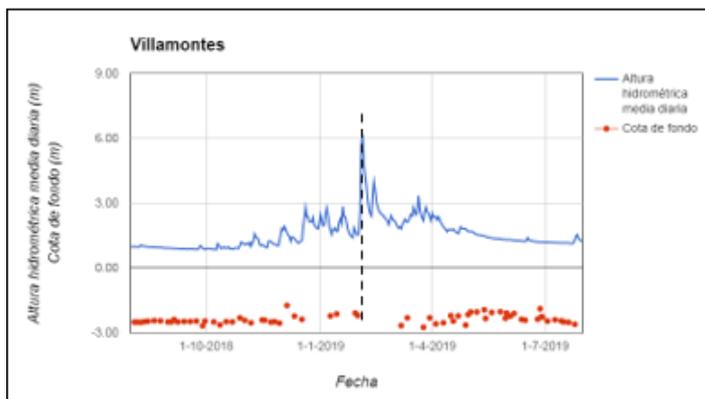


Figura Nº 17 : Nivel medio diario de pelo de agua y fondo del cauce período agosto 2018 – julio 2019

Del 10 al 20 de diciembre el río subió su nivel abruptamente de 1,24m a 3,09m. Se discontinuaron los aforos hasta el 09ene19 fecha en que el nivel volvió a 1,51m . Desde esa fecha hasta el 29 de enero se pudieron hacer cuatro aforos pudiéndose medir un caudal de 253,8 m<sup>3</sup>/s con una altura de 1,78m. (Período 1).



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

No se dispone de datos de aforos (caudales medidos y profundidad de fondo) desde el 31 de enero (último aforo con carro) hasta el 7 de marzo, en que se retomaron los aforos convencionales.

Cabe señalar que el 4 de febrero a las 0630hs la mayor altura máxima registrada en todo el año hidrológico fue de 6,90m.

A partir del 7 de marzo, el nivel del fondo osciló entre -2,70m y -1,90m, como se observa en la Figura N° 17 hasta el fin del año hidrológico. (Período 2).

Comparando los valores del año hidrológico 2017-2018 con los registrados en el 2018 - 2019, se tiene:

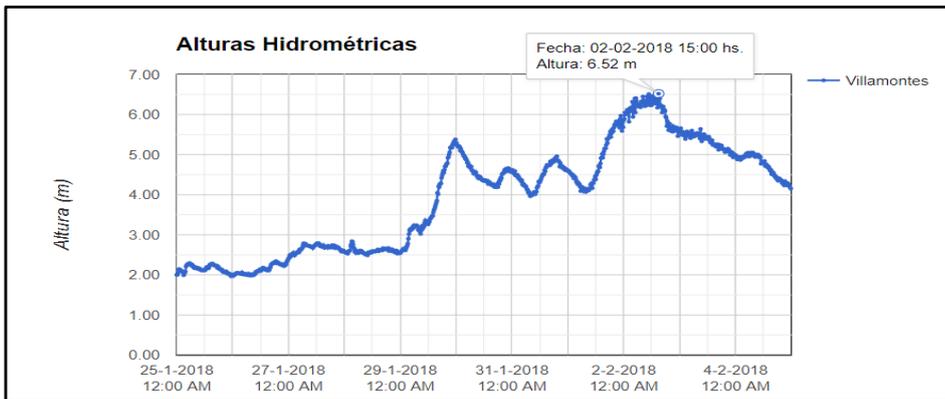


Figura N° 18 Creida del 2 de febrero de 2018

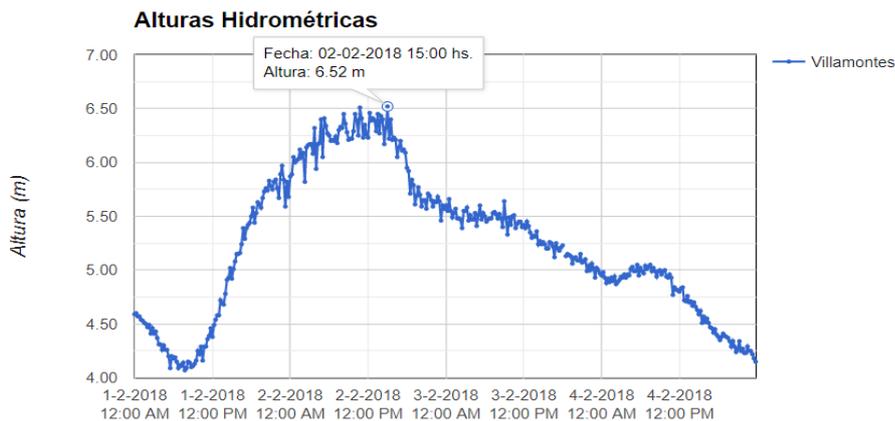


Figura N° 19. Creida del 2 de febrero de 2018. Detalle



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

En las Figuras 18 y 19 se presentan los hidrogramas de la que fue la máxima crecida del año hidrológico 2017 – 2018, cuyo nivel máximo fue 6,52m producido el 2 de febrero de 2018 a las 1500 hs.

En la Figura 18 se puede apreciar que ya se venían presentando niveles del orden o superiores a los 5m desde el 30 de enero.

Para el año hidrológico 2018 – 2019 la máxima crecida se produjo el 4 de febrero de 2019. (Figuras 20 y 21).

Lamentablemente, no se tiene el valor máximo alcanzado por encontrarse fuera de servicio el sensor automático. El mayor registro fue de 6,90m a las 0630 hs.

La diferencia con el año anterior es que dicha onda se presentó sin valores altos previos (dos días antes el nivel era del orden de los 2,00m).

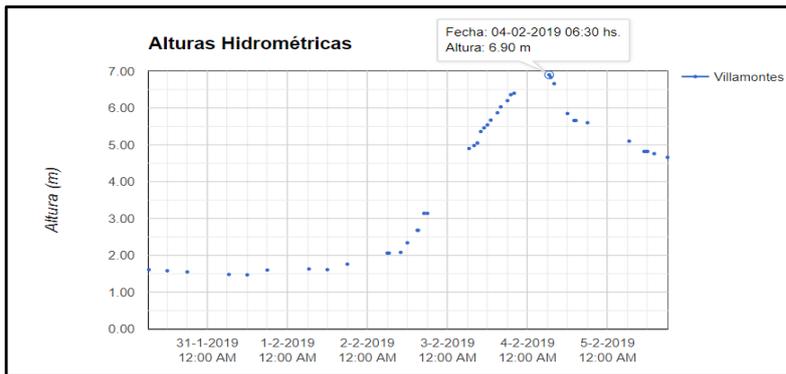


Figura Nº 20. Crecida del 4 de febrero de 2019

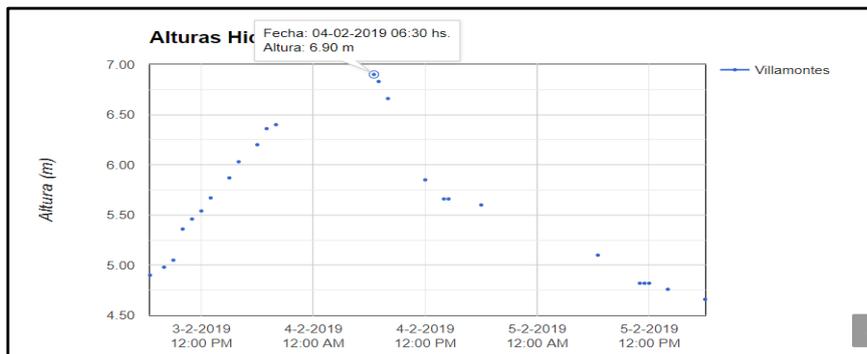


Figura Nº 21. Crecida del 4 de febrero de 2019. Detalle



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

La Tabla N° 4 muestra la comparación de niveles máximos y mínimos en la estación.

Nivel	Periodo					
	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
máximo (m)	5.85	4.45	3.34	2.51	6.52	6.90
mínimo (m)	0.79	0.71	0.62	0.47	0.42	0.84

Tabla N° 4: Niveles máximos y mínimos (m)

Se realizó el análisis de frecuencia de los máximos niveles registrados en la estación con los datos históricos disponibles en la Base de Datos (Figura N° 22). De un total de 44 años hidrológicos <sup>1</sup>(no consecutivos, solamente se consideraron años hidrológicos completos del 1 de agosto al 31 de julio), solamente el 12% de los datos superó el nivel de 6.90m.

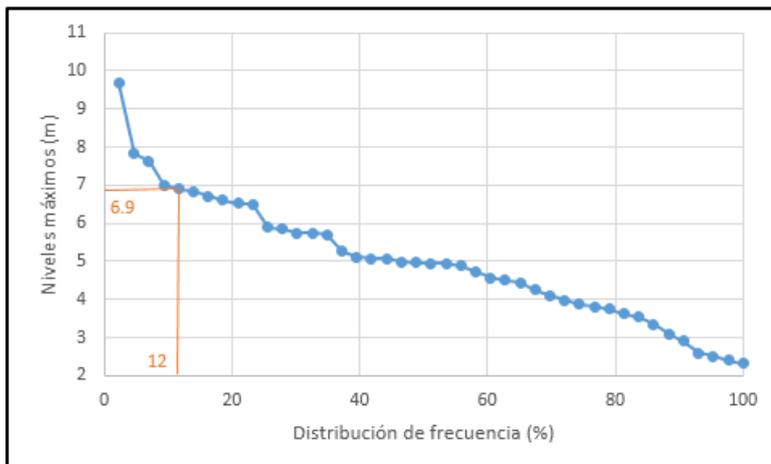


Figura N° 22: Curva de distribución de frecuencia acumulada, niveles máximos diarios

Si se consideran los 10 niveles máximos registrados desde el 2 de agosto de 1973 al 31 de julio de 2019, la crecida del año hidrológico se ubica en la posición N° 5.

En la Tabla N° 5, se detallan los 10 niveles máximos registrados para el período de información descrito, año hidrológico y fecha de registro.

<sup>1</sup> 1973-1984/1986-1987/1989-2019



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

AÑO HIDROLOGICO	FECHA	NIVEL MÁXIMO (m)	
2006	2007	17-ene-07	9,70
1983	1984	22-mar-84	7,82
1998	1999	22-mar-99	7,64
2004	2005	14-feb-05	7,00
2018	2019	4-feb-19	6,90
1978	1979	30-ene-79	6,84
2012	2013	21-ene-13	6,70
2005	2006	23-ene-06	6,60
2017	2018	2-feb-18	6,52
2003	2004	1-ene-04	6,50

Tabla N° 5: máximos niveles (m) (02-08-73 al 31-07-19)

El nivel mínimo registrado en los años hidrológicos analizados fue de 0.42m y el nivel máximo 9.70m.

Análogamente, el análisis de frecuencia de los mínimos niveles registrados en la estación con los datos históricos disponibles en la Base de Datos (Figura N° 23) , el 77% de los datos estuvo por debajo del nivel 0.84m, ocurrido el 9 de octubre de 2018, correspondiente al año hidrológico en estudio. Dicho nivel fue el máximo de los mínimos diarios de los últimos diez años hidrológicos (Tabla N° 6).

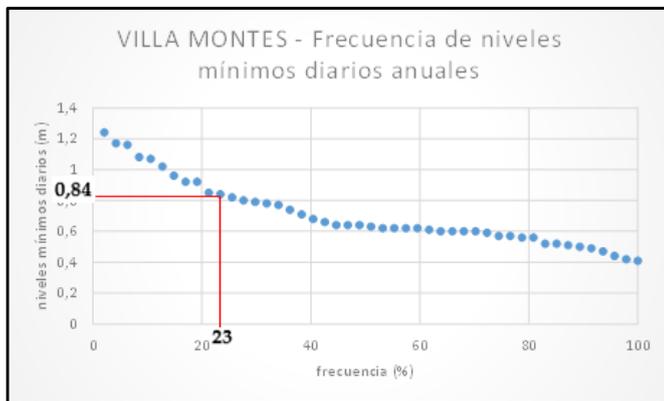


Figura N° 23: Curva de distribución de frecuencia acumulada, niveles mínimos diarios



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

Año Hidrológico		nivel mínimo
2009	2010	0,66
2010	2011	0,57
2011	2012	0,57
2012	2013	0,6
2013	2014	0,79
2014	2015	0,71
2015	2016	0,62
2016	2017	0,41
2017	2018	0,42
2018	2019	0,84

Tabla Nº 6: mínimos niveles (m) (02-08-73 al 31-07-19)

## MISIÓN LA PAZ

Como se observa en la Figura Nº 24, los niveles medios diarios en la estación Misión la Paz para el año hidrológico 2018-2019 en la mayor parte del tiempo se mantuvieron por encima de los niveles medios diarios de los otros años hidrológicos anteriores con excepción del 2017 - 2018.



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

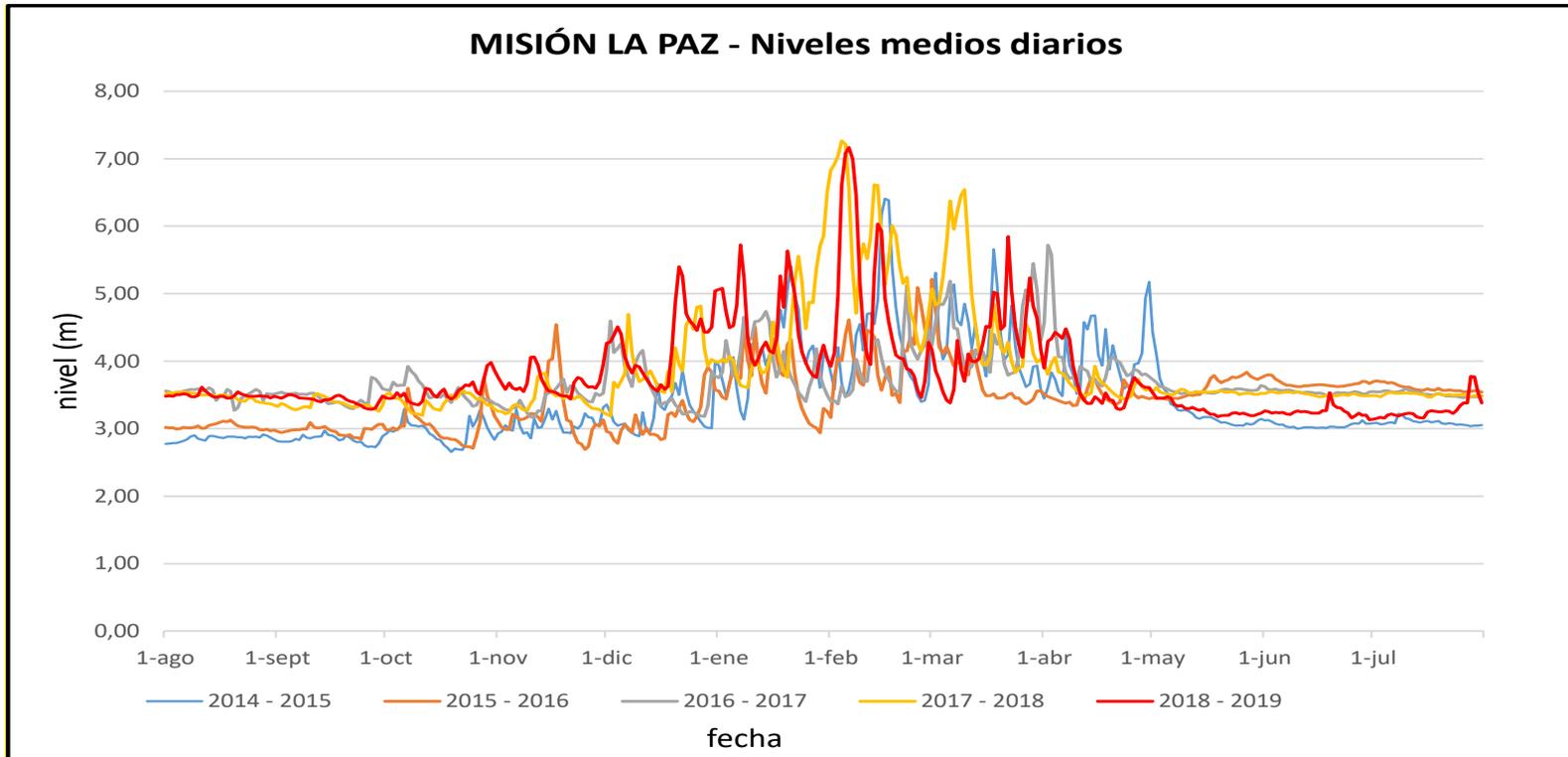


Figura N° 24: Niveles medios diarios (m), Misión La Paz



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

El año hidrológico 2018 – 2019. Niveles instantáneos

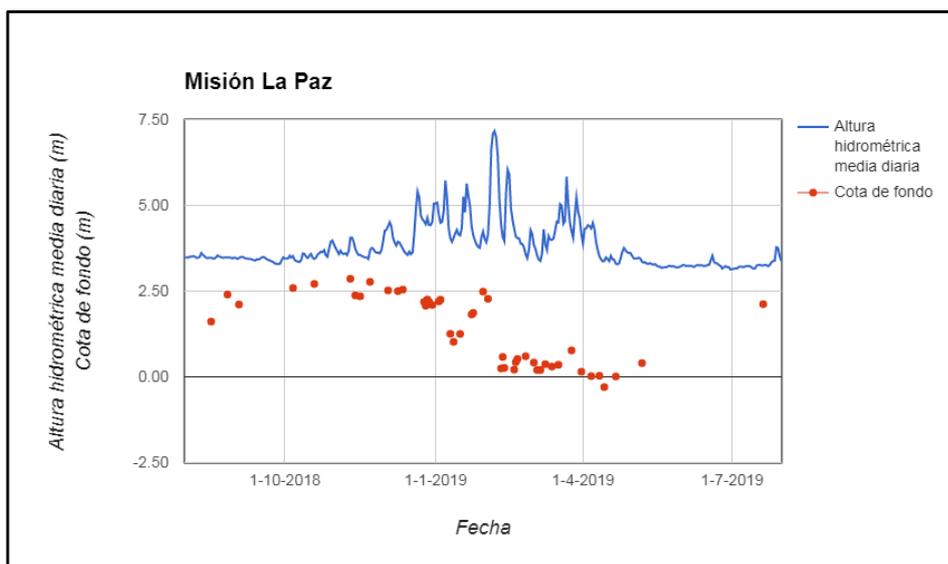


Figura N° 25: Niveles instantáneos y del fondo del cauce (m)

El río arrancó el año con una cota de 3,49m y el fondo del cauce con una cota de 1,61m (17 de agosto de 2018), que con ligeras variaciones se fue incrementando hasta llegar a 2,86m a principios de noviembre, en que se produjeron las primeras crecidas. Las siguientes crecidas producidas mantuvieron el nivel del río (salvo escasas ocasiones) por encima de los 4m desde el 18 de diciembre hasta el 8 de abril de 2019 y fueron erosionando el cauce hasta llegar a 1,02m a principios de enero de 2019. Luego una brusca sedimentación llevó al mismo a 2,48m a fines de enero. El 5 de febrero a las 23:30hs se produjo la máxima crecida (llegó el pico a 7,22m y el fondo a 0,2m.

Posteriores picos de crecida llevaron al fondo a su cota más baja (-0,3m) a mediados de abril de 2019. Figura N° 25.



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

No se dispone de datos de profundidad de fondo (aforos convencionales con carro) desde el 2 al 11 de febrero de 2019.

A medida que las aguas fueron descendiendo se fue produciendo una sedimentación que terminó el año hidrológico con una cota de fondo de alrededor de los 2,12m .

Análogamente a lo realizado en Villa Montes, comparando los valores del año hidrológico 2017-2018 con los registrados en el 2018 - 2019, se tiene:

Para el año hidrológico 2017 – 2018

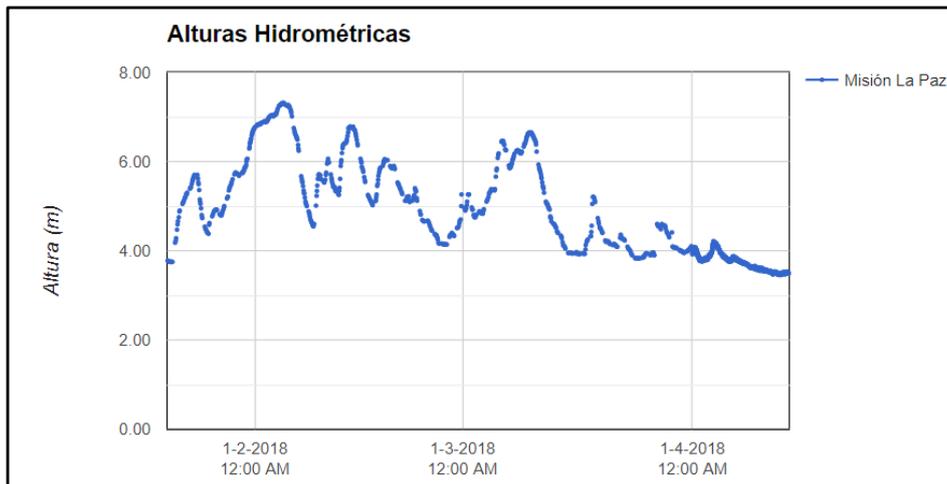


Figura Nº 26, Crecida de febrero de 2018



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

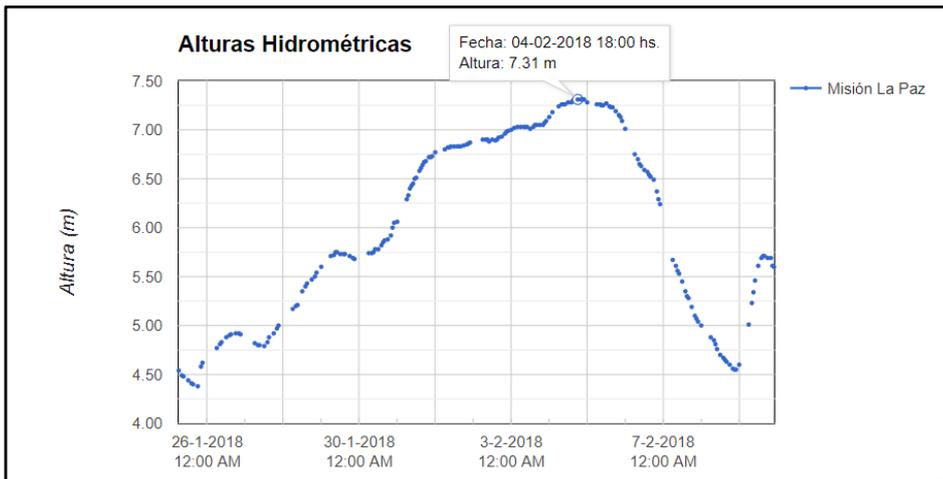


Figura Nº 27. Crecida del 2 de febrero de 2018

En la Figura 26 se presenta el hidrograma de la temporada de aguas altas del año hidrológico 2017 – 2018.

En la Figura 27 se aprecia el de la máxima crecida de dicho año, cuyo nivel máximo fue 7,31m producido el 4 de febrero de 2018 desde las 1800 hasta las 2200 hs.

En la Figura 26 se ve que en días previos a ese pico de crecida se había producido un nivel cercano a los 6m y que a posteriori del mismo se produjeron niveles superiores a los 6 m en dos oportunidades hasta principios del mes de marzo en que se produce la finalización del período de aguas altas.

Para el año hidrológico 2018 – 2019 la máxima crecida se produce el 5 de febrero de 2019 a las 2330 hs con un nivel de 7,22m. (Figuras 28 y 29).

En la Figura 28 se ve que en días previos a ese pico de crecida se habían producido niveles cercanos a los 6m en tres oportunidades y que a posteriori del mismo se produjeron niveles del orden de los 6 m en dos oportunidades hasta principios del mes de abril, en que se produce la finalización del período de aguas altas.



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

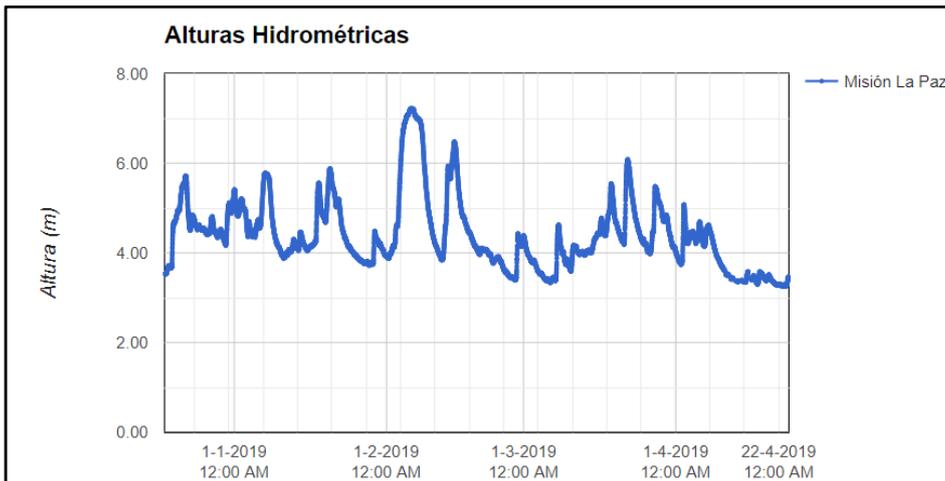


Figura Nº 28. Crecidas de febrero de 2019

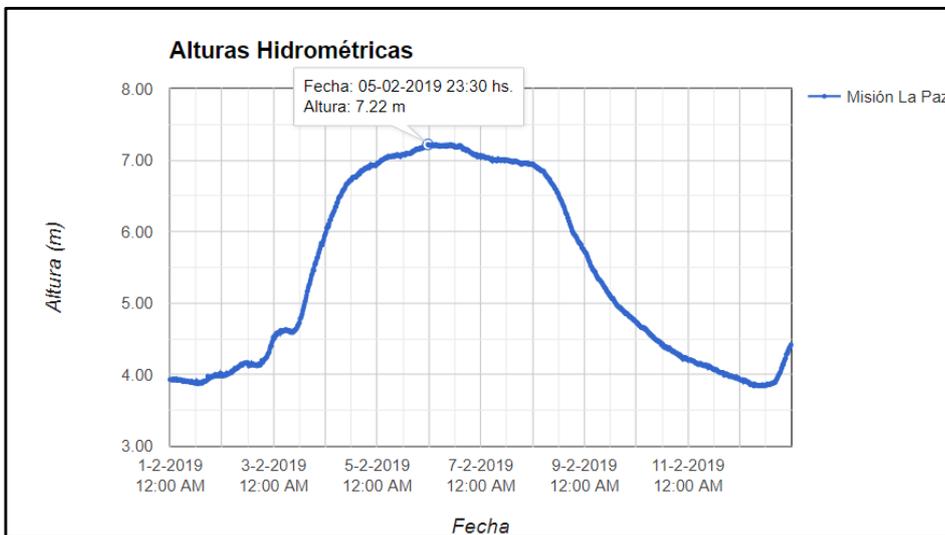


Figura Nº 29. Crecida del 4 de febrero de 2019

Comparando el nivel máximo alcanzado el año 2018 – 2019 contra los diez mayores producidos en todo el registro ( 55 años) se tiene la Tabla Nº 7, en la que se aprecia que el nivel



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

máximo registrado en febrero de 2019 fue el segundo, después del del año hidrológico 2017 – 2018.

	año hidrológico		nivel maximo
1	2017	2018	7,31
2	2018	2019	7,22
3	1983	1984	7,16
4	1987	1988	6,95
5	1978	1979	6,90
6	2006	2007	6,74
7	2004	2005	6,70
8	2011	2012	6,67
9	2007	2008	6,65
10	2012	2013	6,60

Tabla N°7

La Tabla N° 8 muestra la comparación de niveles máximos y mínimos en la estación Misión La Paz de los último cinco años hidrológicos.

Nivel	2013	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017	2017	2018	2018	2019
máximo (m)	6,53		6,45		5,70		5,82		7,31		7,22	
mínimo (m)	2,49		2,61		2,66		2,72		3,19		3,13	

Tabla N°8: Niveles máximos y mínimos (m)

También se realizó el análisis de frecuencia del máximo nivel registrado en la estación para el año hidrológico 2018-2019 respecto de los datos históricos con los que se cuentan en la Base de Datos. De un total de 55 años hidrológicos consecutivos, el registro de 7.22m fue el segundo de toda la serie. Figura N° 30.



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

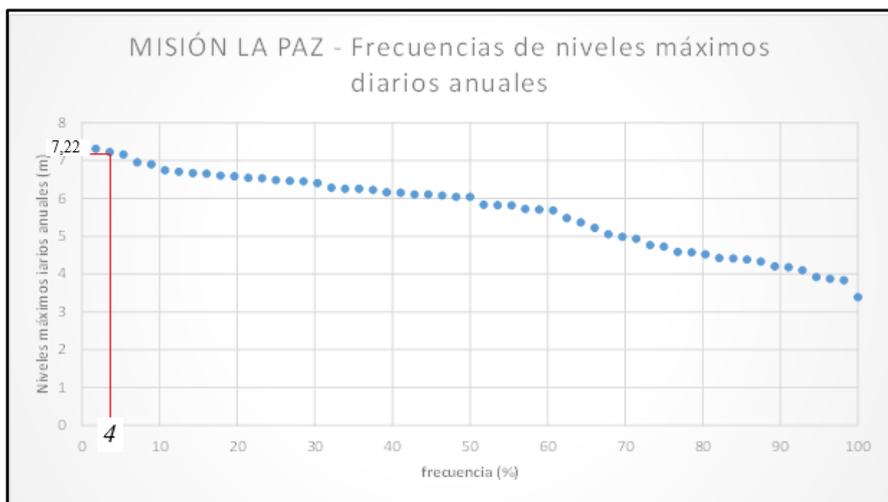


Figura Nº 30: Curva de distribución de frecuencia de niveles máximos

En la Tabla Nº 9 se detallan los 11 niveles máximos instantáneos registrados para el período de información descripto, año hidrológico y fecha de registro.

AÑO HIDROLOGICO	FECHA	NIVEL MÁXIMO (m)	
2017	2018	4-feb-18	7,31
2018	2019	5-feb-19	7,22
1983	1984	22-mar-84	7,16
1987	1988	18-mar-88	6,95
1978	1979	2-feb-79	6,9
2006	2007	19-ene-07	6,74
2004	2005	16-feb-05	6,7
2011	2012	13-feb-12	6,67
2007	2008	27-ene-08	6,65
2012	2013	22-ene-13	6,6
2009	2010	22-feb-10	6,54

Tabla Nº 9 : máximos niveles instantáneos (m) (02-09-64 al 31-07-18)

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

El análisis de frecuencia de los mínimos niveles registrados en la estación con los datos históricos disponibles en la Base de Datos, el 98% de los datos estuvo por debajo del nivel



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

3,13m, ocurrido entre el 30 de junio y 2 de julio correspondiente al año hidrológico en estudio (Figura N° 31 y Tabla N° 10).



Figura N° 31: Curva de distribución de frecuencia de niveles mínimos diarios

año hidrológico		nivel mínimo diario anual
2013	2014	2,49
2006	2007	2,52
2014	2015	2,61
2015	2016	2,66
2012	2013	2,69
2011	2012	2,70
2016	2017	2,72
2019	2020	2,96
2018	2019	3,13
2017	2018	3,19

Tabla N° 10 : mínimos niveles (m)

El nivel mínimo registrado en los 55 años hidrológicos analizados fue de 0.12m (año hidrológico 1966 – 1967).



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

## CAUDALES

### VILLA MONTES

Para el año hidrológico 2018 – 2019 no se encontró una curva que ajustara razonablemente bien para todo el período. Se consideraron, entonces, los dos períodos indicados en la Figura N° 17.

Se encontró una expresión polinómica de segundo grado para el período inicial del año hidrológico (hasta la ocurrencia de las crecidas):  $y = 71,419x^2 + 37,664x - 59,972$ , con un  $R^2 = 0,9581$  (fines de enero de 2019). Figura N° 32

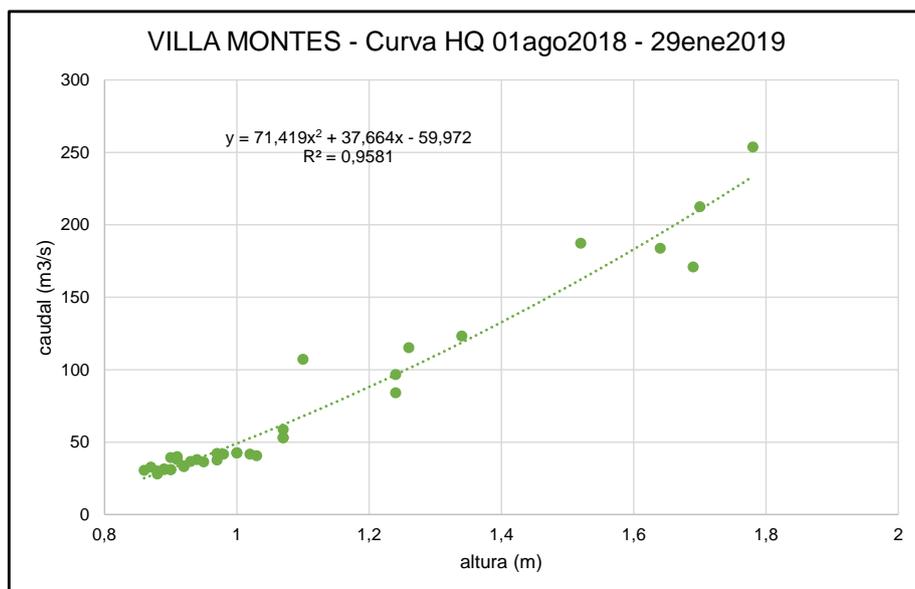


Figura N° 32. Villa Montes. Curva HQ agosto 2018 – enero 2019

Lamentablemente, una vez más, durante el período de crecidas no hubo aforos en la sección (febrero). Para la etapa final del año hidrológico (Período 2), como se verá en el punto “fondo del cauce”, se produjo una importante sedimentación en la margen derecha del cauce. Se encontró una expresión potencial mínimamente aceptable  $y = 49,952 \cdot x^{2,1732}$ , con un  $R^2 = 0,8066$ . Figura N° 33



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

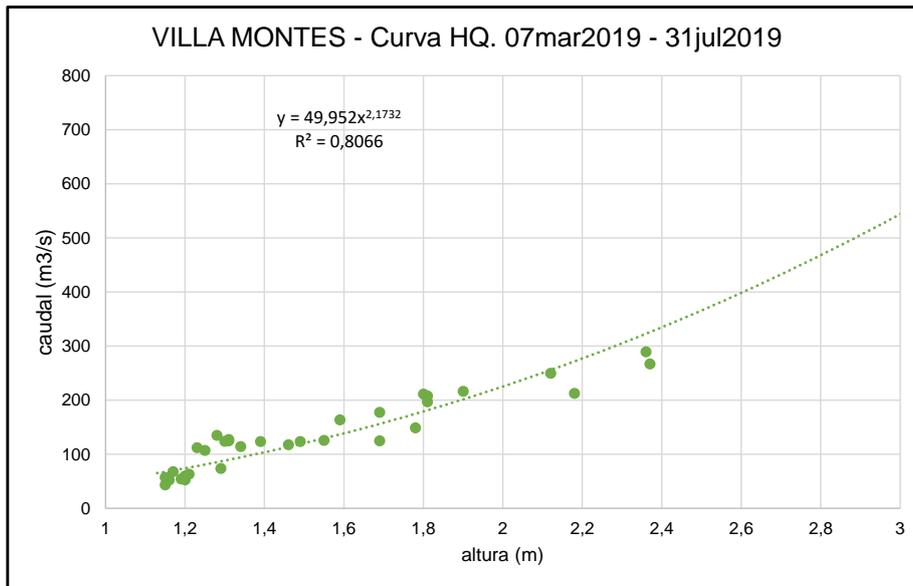


Figura N° 33. Villa Montes. Curva HQ. MNarzo – julio 2019

La curva H-Q general, que se consideró para el cálculo de caudales medios de todos los años hidrológicos estudiados, es la que se muestra en la Figura N° 34.



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

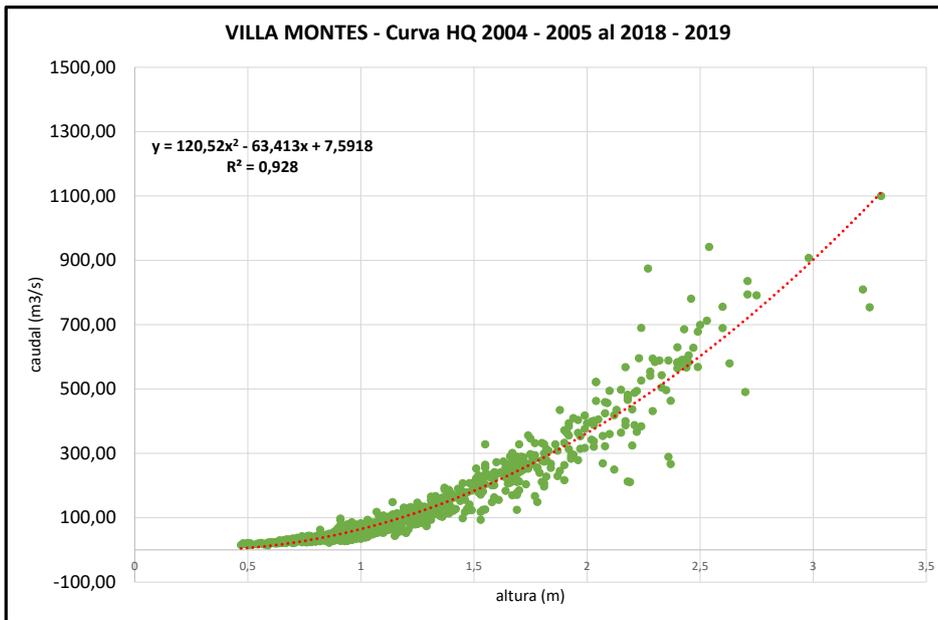


Figura N° 34: curva H-Q (2004-2005 al 2018-2019)

La Tabla N° 11 muestra los niveles y caudales máximos en la estación Villa Montes calculados con la expresión de la Figura N° 34

Año hidrológico	Nivel Máximo (m)	Caudal máximo (m3/s)
2013 - 2014	5,85	3.761
2014 - 2015	4,45	2.112
2015 - 2016	3,34	1.140
2016 - 2017	2,51	608
2017 - 2018	6,52	4.717
2018 - 2019	6,90	5.308

$$120,52x^2 - 63,413x + 7,5918$$

Tabla N° 11: Niveles y caudales máximos

Como se observa en la Tabla N° 11 para el año hidrológico 2018-2019 los caudales fueron los más altos respecto de los años hidrológicos de estudio.



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

Se realizó el análisis de frecuencia para caudales máximos (considerando niveles máximos calculados para los últimos quince años hidrológicos con la expresión  $Q = 120,52 \cdot h^2 - 63,413 \cdot h + 7,5918$ ).

En la Tabla N° 12 y Figura N° 35 se aprecia que el 19% de los datos de un total de 15 años hidrológicos (2004-2005 al 2018-2019) supera el caudal del año hidrológico 2018-2019. Para el período considerado en el cálculo de cuadales máximos, el máximo caudal fue de 10.732 m<sup>3</sup>/s (2017-2018), el mínimo caudal máximo fue de 608m<sup>3</sup>/s (2016-2017) y el promedio de los mismos fue de 3.837m<sup>3</sup>/s.

año hidrológico	Hmax	frecuencia	Qmax
2006 <b>2007</b>	9,7	6	<b>10.732</b>
2004 <b>2005</b>	7	13	<b>5.469</b>
2018 <b>2019</b>	6,9	19	<b>5.308</b>
2012 <b>2013</b>	6,7	25	<b>4.993</b>
2005 <b>2006</b>	6,6	31	<b>4.839</b>
2017 <b>2018</b>	6,52	38	<b>4.717</b>
2007 <b>2008</b>	5,9	44	<b>3.829</b>
2013 <b>2014</b>	5,85	50	<b>3.761</b>
2009 <b>2010</b>	5,74	56	<b>3.614</b>
2010 <b>2011</b>	5,25	63	<b>2.997</b>
2008 <b>2009</b>	4,98	69	<b>2.681</b>
2011 <b>2012</b>	4,73	75	<b>2.404</b>
2019 <b>2020</b>	4,53	81	<b>2.194</b>
2014 <b>2015</b>	4,45	88	<b>2.112</b>
2015 <b>2016</b>	3,34	94	<b>1.140</b>
2016 <b>2017</b>	2,51	100	<b>608</b>

Tabla N° 12 Caudales máximos anuales calculados



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

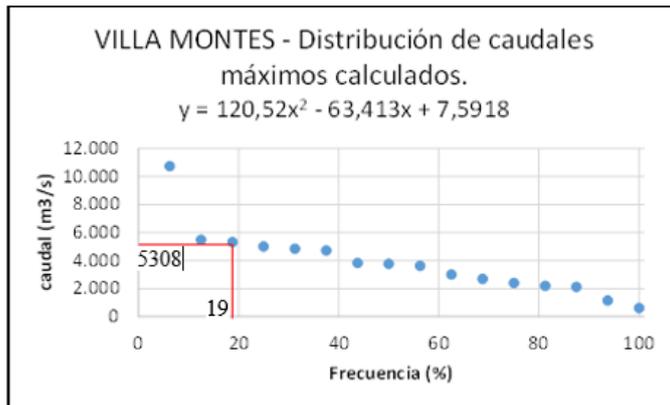


Figura Nº 35: Curva de distribución de frecuencia de cuadales máximos

Como se observa en la Figura Nº 36, los caudales medios diarios en la estación Villa Montes para el año hidrológico 2018-2019 se pueden considerar superiores a los caudales medios diarios de los años hidrológicos anteriores.



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

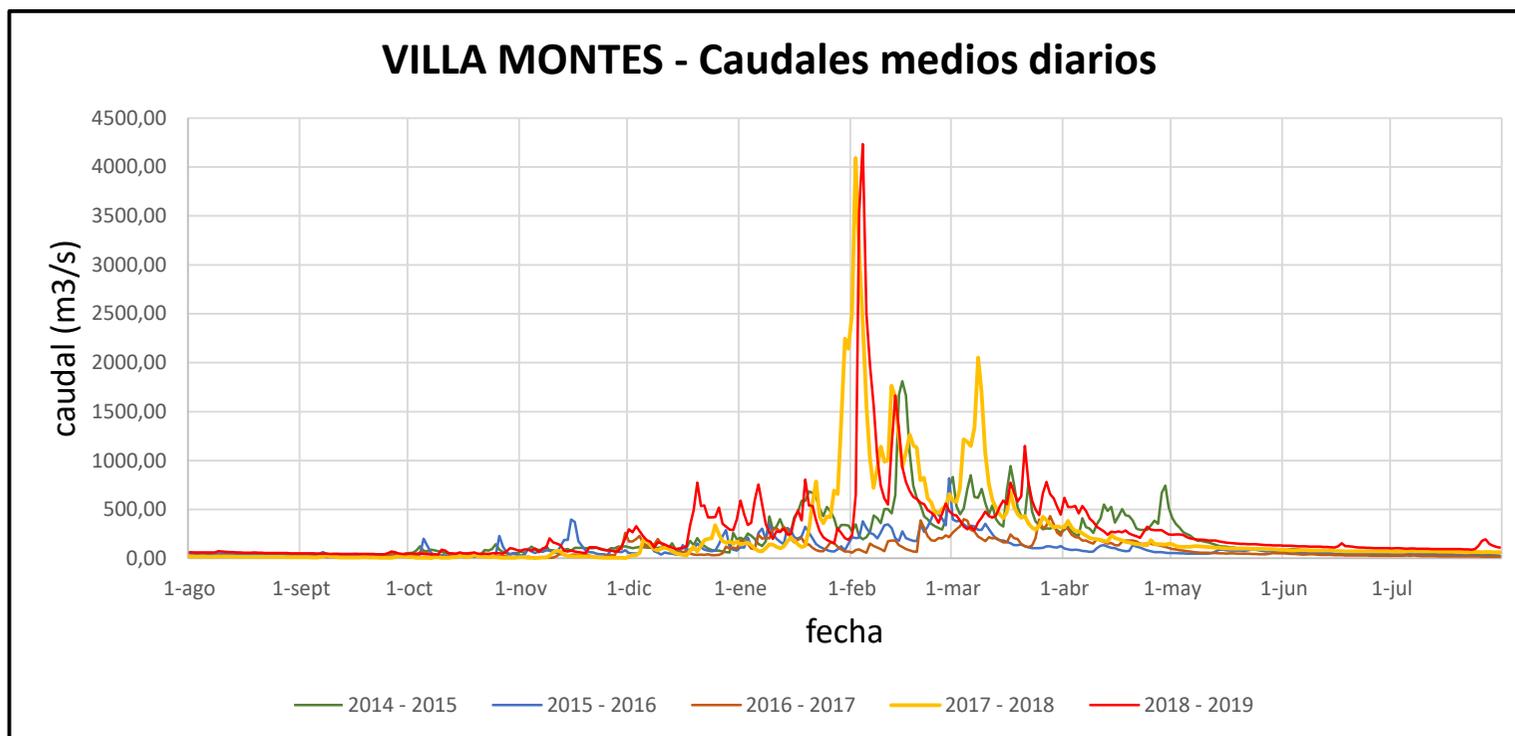


Figura Nº 36. Caudales medios dários



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

## MISIÓN LA PAZ

Se analizaron las relaciones altura caudal (HQ) para los años hidrológicos 2014 – 2015 al 2018 – 2019.

Las mismas fueron:

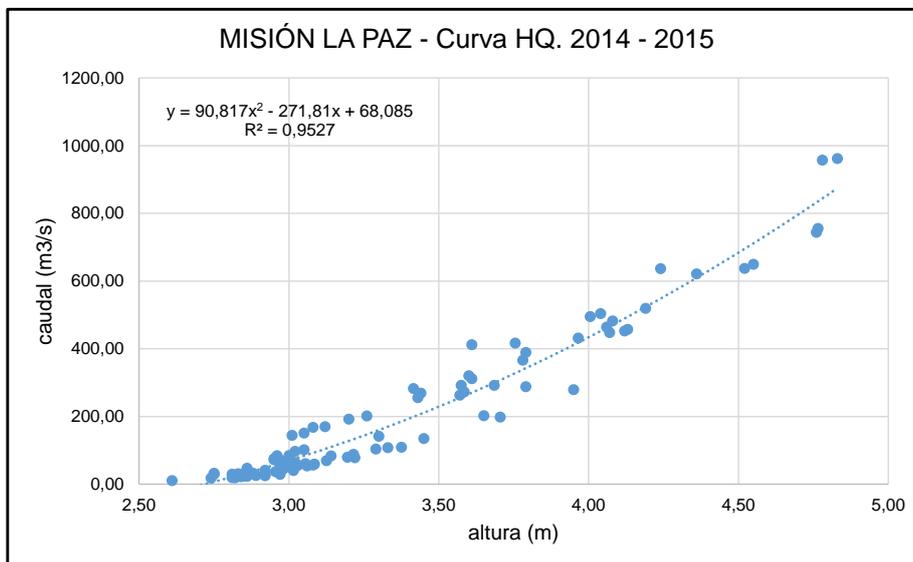


Figura Nº 37. Misión la Paz. Curva HQ 2014 - 2015

Para el nivel máximo alcanzado por el río en ese año hidrológico (6,45m) el caudal fue de 2.093m<sup>3</sup>/s.



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

Análogamente, para el año hidrológico 2015 – 2016:

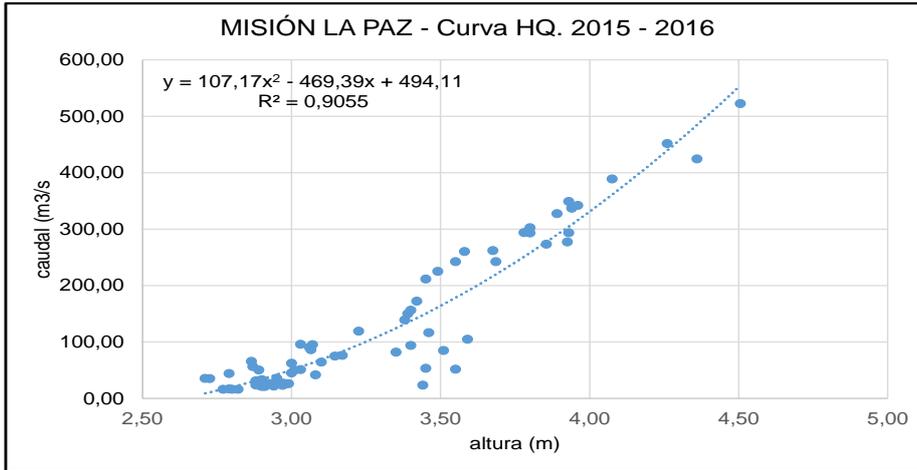


Figura Nº 38. Misión la Paz. Curva HQ 2015- 2016

Para el nivel máximo alcanzado por el río en ese año hidrológico (5,70m) el caudal fue de 1.301 m³/s.

Para el año hidrológico 2016 – 2017:

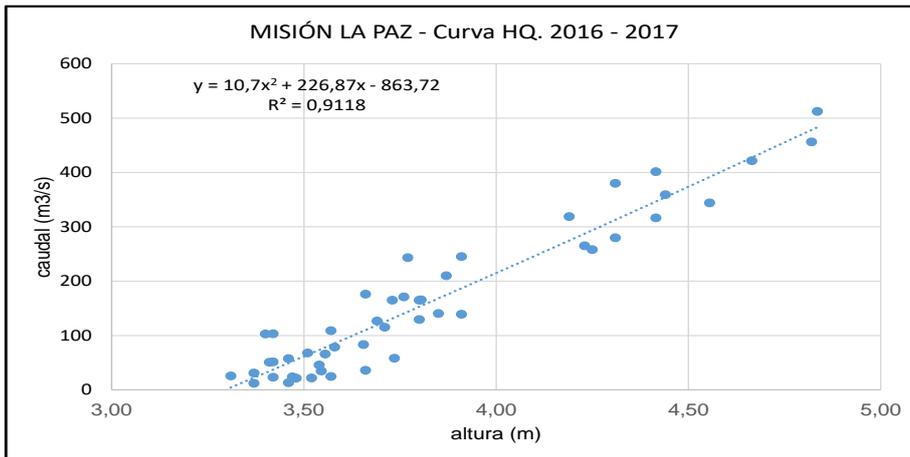


Figura Nº 39. Misión la Paz. Curva HQ 2016 - 2017



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

Para el nivel máximo alcanzado por el río en ese año hidrológico (5,82m) el caudal fue de 819 m<sup>3</sup>/s.

Para el año hidrológico 2017 – 2018:

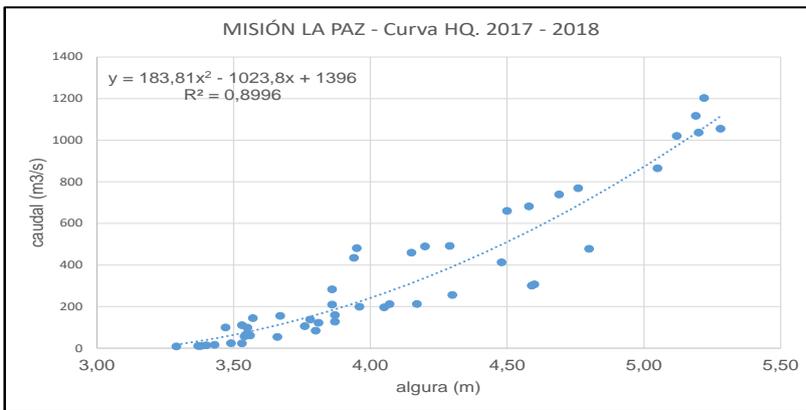


Figura Nº 40 . Misión la Paz. Curva HQ 2017 - 2018

Para el nivel máximo alcanzado por el río en ese año hidrológico (7,31m) el caudal fue de 3.734 m<sup>3</sup>/s.

Para el año hidrológico 2018 – 2019, para el cálculo de los caudales se analizaron dos períodos: antes y después del pico máximo de la crecida de principios de febrero de 2019.

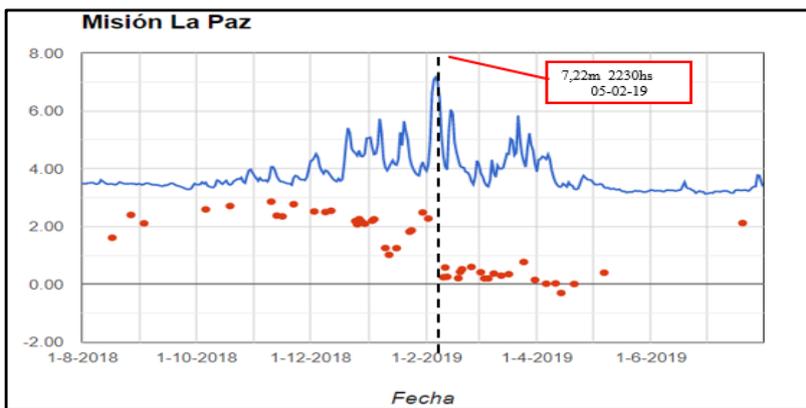


Figura Nº 41. Misión la Paz. Niveles de pelo de agua y fondo



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

Dada la alta variabilidad de la sección transversal con los caudales erogados (y sus respectivos niveles) se estudiaron éstos conjuntamente con los niveles de fondo.

El río arrancó el año con una cota de su pelo de agua de 3,49m y el fondo del cauce con una cota de 1.61m (17 de agosto de 2018).

A partir de diciembre se produjeron las primeras crecidas con niveles por encima de los 4m (salvo escasas ocasiones) hasta el 8 de abril de 2019. Las mismas fueron erosionando el cauce hasta llegar a 1,02m a principios de enero de 2019.

Luego, una brusca sedimentación llevó al mismo a 2,48m a fines de enero. Hasta esa fecha (primer período del año hidrológico) existe un buen ajuste en sus relaciones altura caudal (HQ - Figura N° 42)

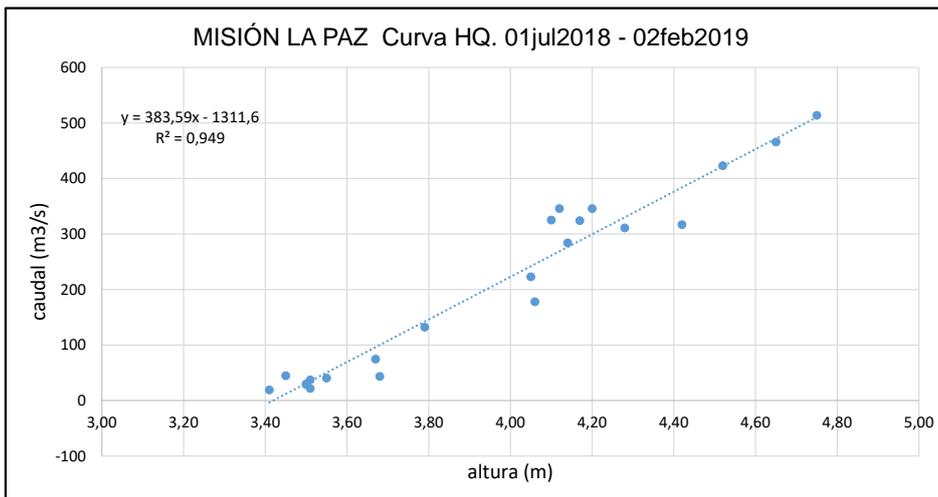


Figura N° 42. Misión la Paz. Curva HQ julio 2018 – febrero 2019

El 5 de febrero a las 23:30hs se produjo la máxima crecida (llegó el pico a 7,22m y el fondo a 0,2m. Posteriores picos de crecida llevaron al fondo a su cota más baja (-0,3m) a mediados de abril de 2019. Figura N° 41

Una vez más, lamentablemente, no se dispone de datos de profundidad de fondo (aforos convencionales con carro) desde el 2 al 11 de febrero de 2019 (pico máximo de crecida). Ello impide conocer el perfil de velocidades del escurimiento y la cota del fondo en esas oportunidades.

A medida que las aguas fueron descendiendo, a partir de mayo de 2019 especialmente, se fue produciendo una sedimentación que terminó el año hidrológico con una cota de fondo de



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

alrededor de los 2,12m .Por ello el mejor ajuste de la siguiente curva HQ se logra considerando los pares de niveles y caudales aforados hasta dicho mes. Figura N° 43..

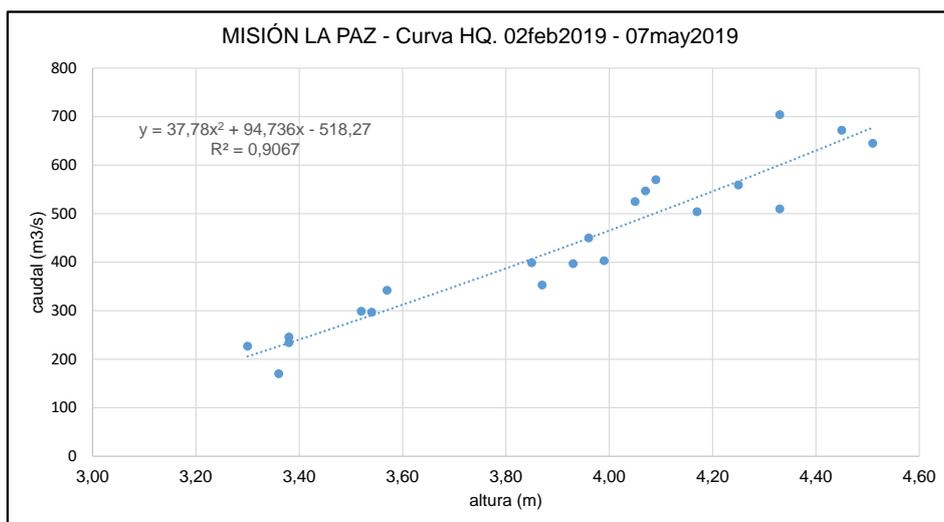


Figura N°43. Misión la Paz. Curva HQ febrero – mayo 2019

Según esta expresión cuadrática, para el nivel máximo alcanzado por el río en ese año hidrológico (7,22m) el caudal fue de 2.135 m3/s.

La Tabla N° 13 muestra los niveles y caudales máximos en la estación Misión La Paz.

año hidrológico		nivel máximo	caudal máximo
2014	2015	6,45	2093
2015	2016	5,70	1301
2016	2017	5,82	819
2017	2018	7,31	3734
2018	2019	7,22	2135

Tabla N°13

Con las curvas anteriores se calcularon los caudales medios diarios de los cinco años (Figura N° 44) y los caudales máximos de la Tabla N° 13.



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

Como se observa en la Tabla N° 13 los caudales máximos para el año hidrológico 2018-2019 fueron los más altos respecto de los años hidrológicos de estudio con excepción del año 2017 – 2018.



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

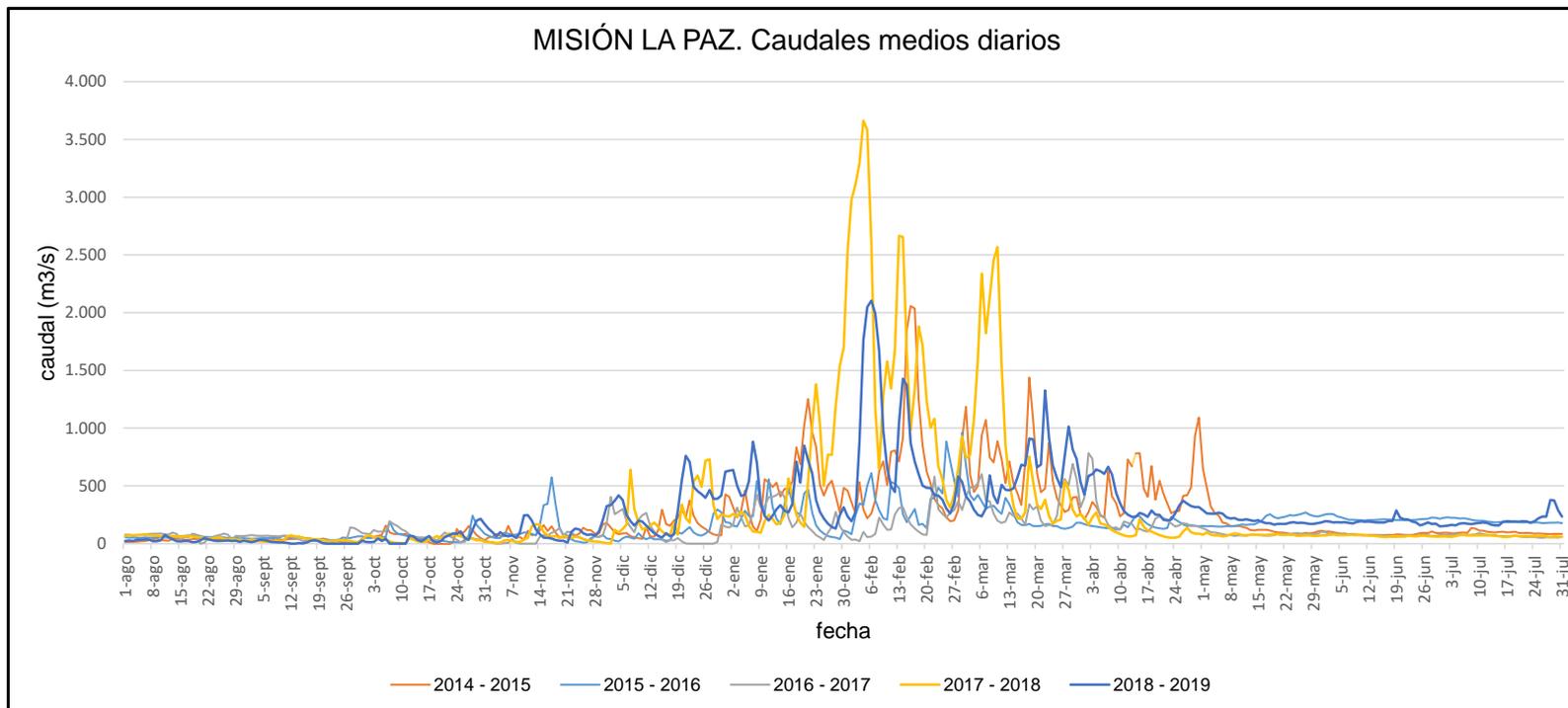


Figura N°44. Misión la Paz . Caudales medios diarios



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

En la Figura N° 45 se presentan los aforos realizados desde el año hidrológico 2013 – 2014 hasta el 2018 – 2019.

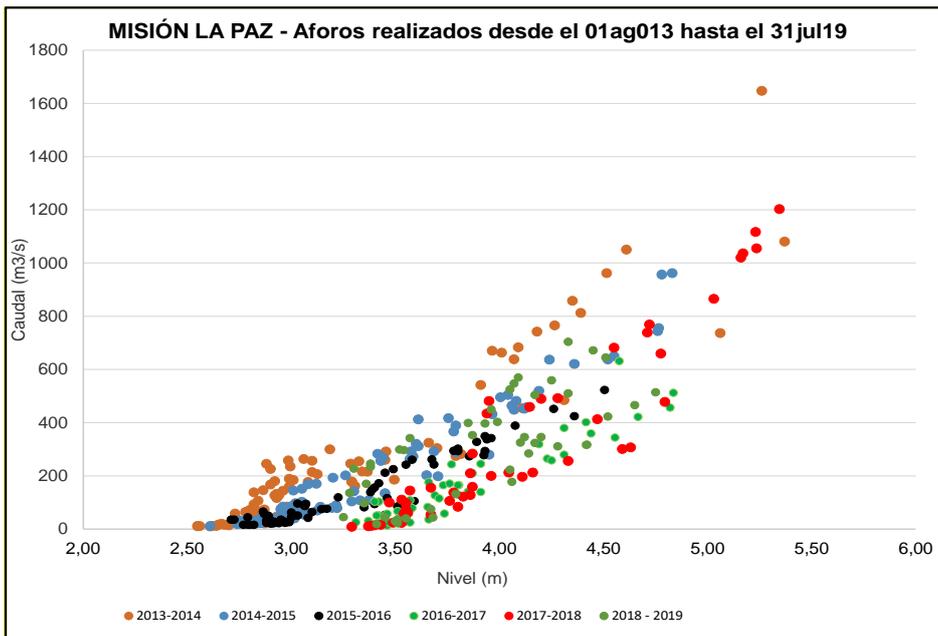


Figura N° 45. Misión la Paz. Aforos realizados 2013-2019

Puede observarse en la Figura N° 45 que para los años hidrológicos 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019 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, 2017-2018 y 2018-2019, se realizaron 48, 49 y 46 aforos, respectivamente.

## FONDO DEL CAUCE

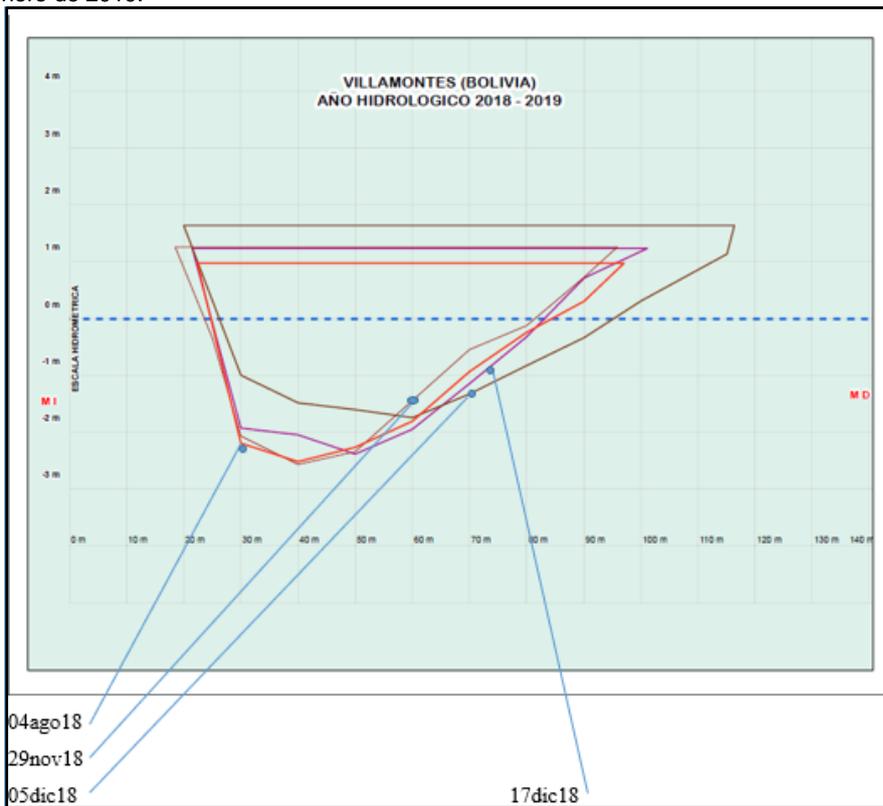
### VILLA MONTES

La Figura N° 46 presenta perfiles transversales en cuatro situaciones del inicio del año hidrológico analizado. Entre el 04 de agosto y 29 de noviembre de 2018 se puede ver que el nivel del fondo no varió sustancialmente (perfiles de colores rojo y ocre claro). El 3 de diciembre se produce la primera crecida del año hidrológico. El perfil del cauce después de su recepción se puede apreciar en el perfil del 5 de diciembre (perfil ocre oscuro) . El cauce recupera



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

su forma previa a esta crecida como se puede ver en el perfil del 17 de diciembre (perfil violeta), último medido antes de la ocurrencia de las crecidas del 20 de diciembre de 2018 y 5 de enero de 2019.



**Comentado [LERO1]:** Inge, que es la línea azul punteada que se ve en los dos gráficos?  
Quizá se vería mejor si se aumenta el tamaño de los ejes X Y, por que no se puede ver bien

Figura N° 46. Villa Montes . Perfiles transversales. Agosto a diciembre de 2018

El cauce se mantiene relativamente estable durante el mes de enero. (perfiles del 9 y 31 de enero: marón y azul, respectivamente). Figura N° 47.

Desde el 31 de ese mes hasta el 7 de marzo (perfil violeta) no se dispone de perfiles de fondo (se produjeron las crecidas del 4 y 13 de febrero). A partir de esa fecha se produjeron 3 picos menores de crecidas que erosionaron el cauce llevándolo a su máxima profundidad (thalweg siempre recostado sobre la margen izquierda) con cota -2,75 m medida el 25 de marzo (perfil verde azulado).

Desde esa fecha el cauce fue sedimentándose lentamente hasta llegar al fin del año hidrológico (28\_ago19 perfil verde claro).



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

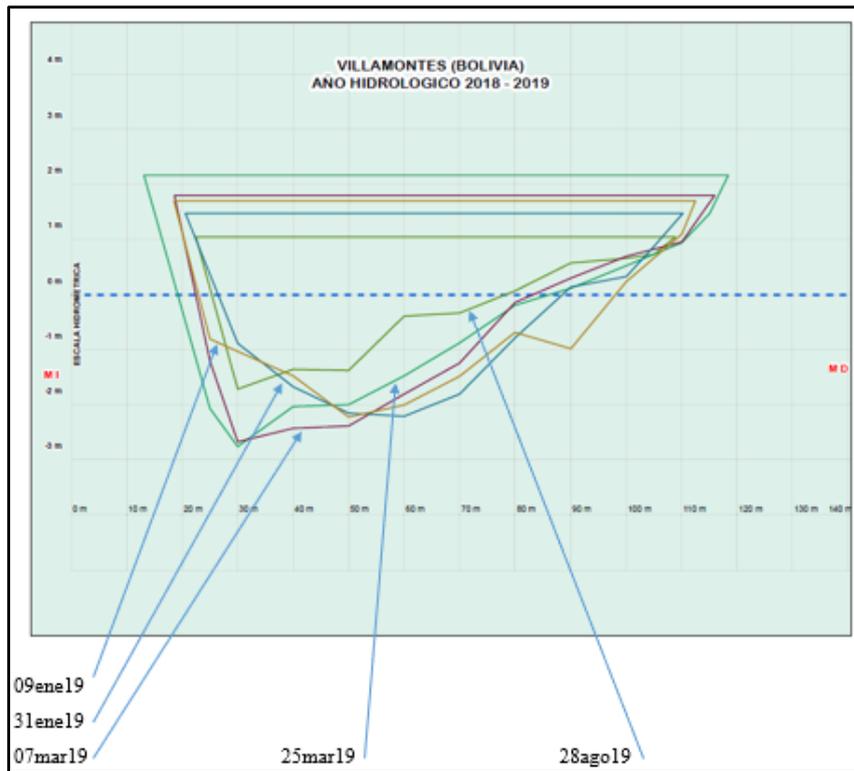


Figura N° 47. Villa Montes. Perfiles transversales. Enero a julio de 2019

Comparando ahora con años anteriores, se puede observar en la Figura N° 48 que el nivel del fondo fue aumentando durante los años 2015 a 2017 como consecuencia de las pequeñas crecidas que tuvieron lugar en febrero de 2015, febrero de 2016 y marzo de 2017 (no superaron los 4m), las cuales no alcanzaron a erosionar el cauce para restituirlo a sus niveles precedentes. El 26 de diciembre de 2017 el nivel del fondo se encontraba a  $-0,86\text{m}$ .

Recién la crecida importante de febrero de 2018 ( $6,52\text{m}$ ) y las que le siguieron tuvieron capacidad de erosionar el cauce y llevarlo, a principios de junio de 2018 a  $-2,78\text{m}$ .

Las crecidas producidas en la temporada estival del 2019 restituyeron el fondo del cauce aproximadamente a su valor precedente (fin de julio de 2019 nivel en  $-2,61\text{m}$ ).



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

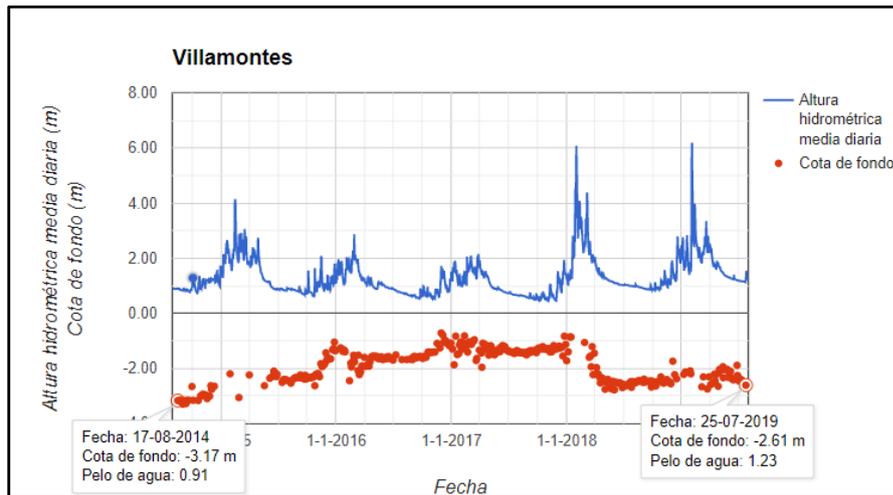


Figura N° 48. Villa Montes. Evolución del fondo del cauce 2015 – 2019

La sedimentación producida a fines del año hidrológico 2018 – 2019 determinó un corrimiento de su curva HQ hacia la derecha (mayores alturas necesarias para erogar iguales caudales por pérdida de capacidad de transporte), como se aprecia en la Figura N° 49.

No obstante las lógicas variaciones de nivel de fondo producidas por las crecidas (mecanismo de erosión – sedimentación), se puede expresar que la sección es razonablemente estable.

Así lo demuestra la Figura N° 49, en la que se presentan las curvas altura – caudal (H-Q) correspondientes a los años hidrológicos 2013-2014 al 2018-2019. Allí se puede apreciar que, aún en caudales medios (del orden de los 400 m<sup>3</sup>/s), los corrimientos de las curvas no sobrepasan los 60 cm.



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

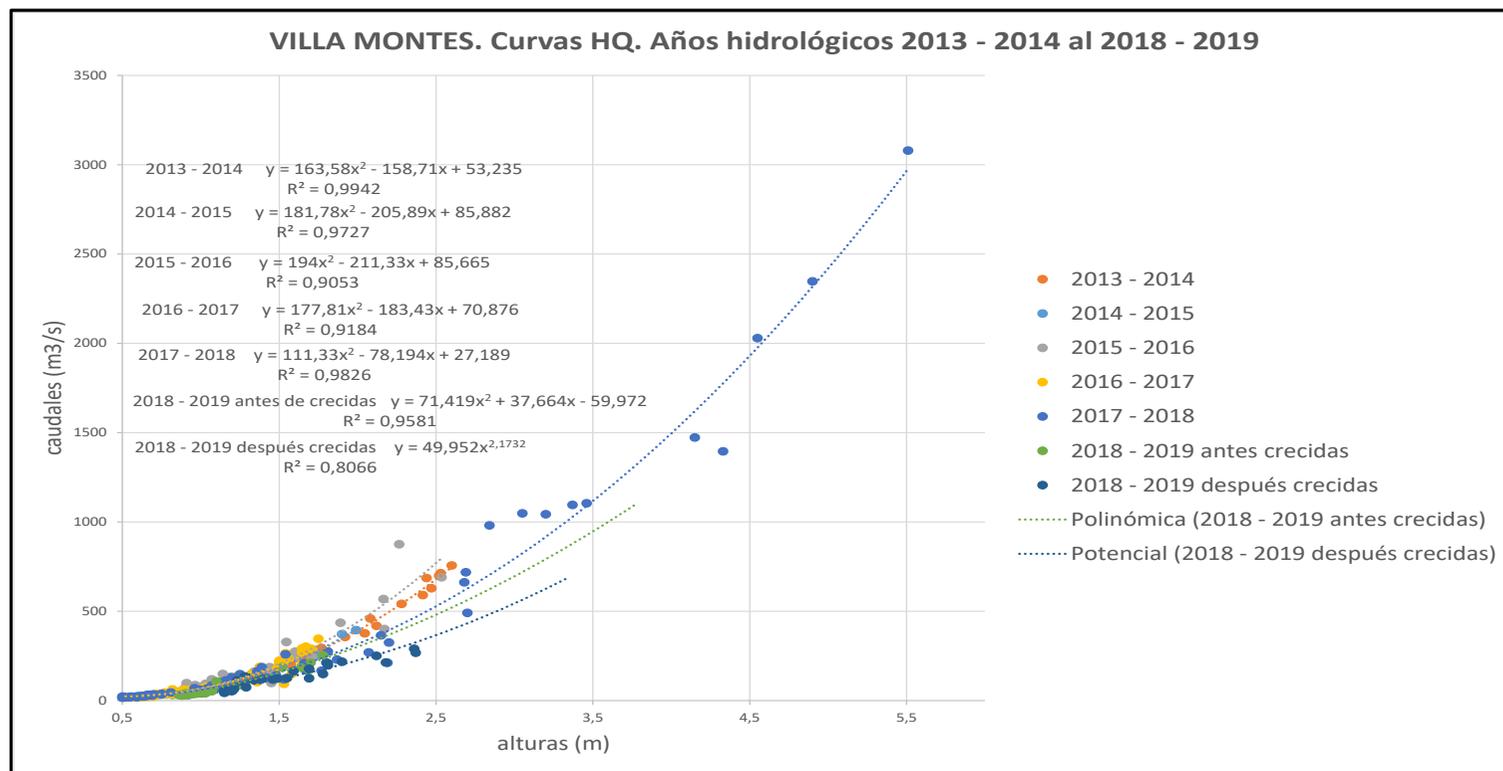


Figura Nº 49: Villa Montes. Curvas H-Q, período 2013-2014 al 2018-2019



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

## MISIÓN LA PAZ

En la Figura N° 50 se presentan las variaciones del pelo de agua y del fondo del thalweg durante los cinco años hidrológicos previos al informe (2013-2014 al 2018-2019).

Se puede apreciar en la misma que, salvo la perturbación producida al cauce por los trabajos realizados a fines de 2015 (que produjo sobre elevación del fondo durante, aproximadamente dos años) el río responde claramente al patrón de erosión – deposición asociado a los caudales que escurren.

Se vuelve a corroborar lo expresado en trabajos anteriores<sup>2</sup> respecto del ascenso medio del fondo del cauce producido, fundamentalmente, desde el verano de 2015, y mantenido durante los años 2016 y 2017 por la incapacidad de erosión de las pequeñas crecidas registradas en esos dos años hidrológicos.

Y también, 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 (aproximadamente 50cm), con lo que el río recuperó, en parte, su capacidad de transporte anterior a esos dos periodos.

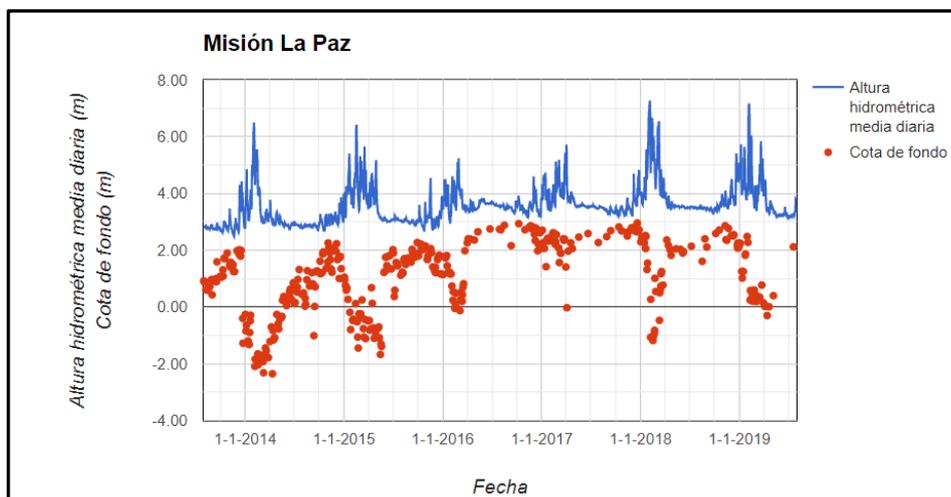


Figura N° 50 Misión la Paz. Niveles de pelo de agua y fondo del cauce durante los años hidrológicos 2013-2014 al 2018-2019

<sup>2</sup> Evaluación de los datos hidrológicos obtenidos en la cuenca del río Pilcomayo correspondiente al año hidrológico 2016-2017. DE CTN UMyCD, diciembre de 2017



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

En la figura siguiente se aprecia los niveles de pelo de agua y fondo para el año hidrológico 2018-2019.

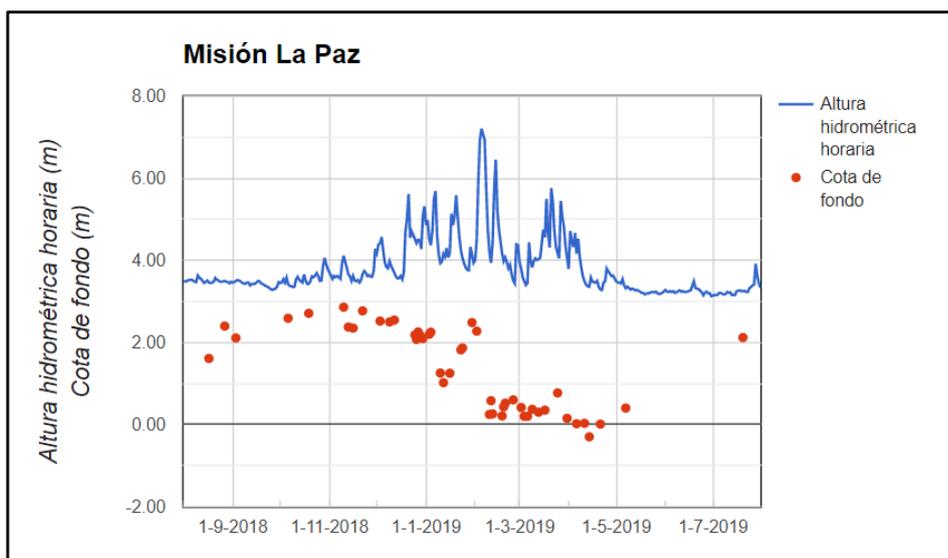


Figura N° 51. Misión la Paz. Niveles de pelo de agua y fondo del cauce durante el año hidrológico 2018-2019

El año hidrológico arranca con un perfil transversal pequeño con el thalweg a 1,61m (ver perfil 1 de la Figura N° 52) . A partir de entonces el cauce va aumentando su sección y elevando su fondo lentamente hasta llegar, el 10 de noviembre, a su cota más alta :



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

2,86m (perfil 2 de la Figura N° 52).

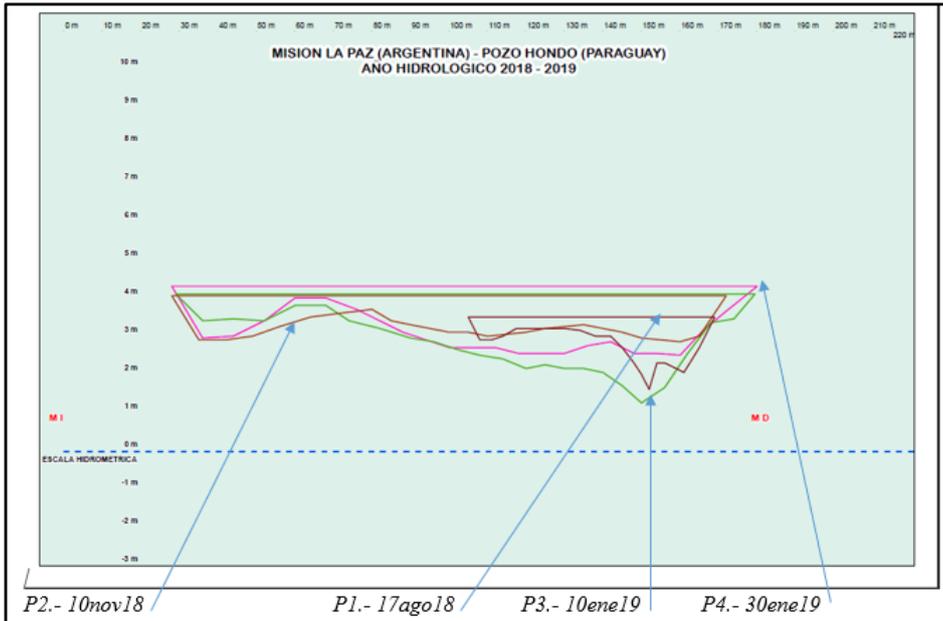


Figura N°52 : Misión la Paz Perfiles transversales. Agosto 2018 enero 2019

Esta Figura presenta perfiles transversales en cuatro situaciones del año hidrológico analizado. El del 17 de agosto de 2018 (P1) corresponde 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 10 de noviembre de 2018 (P2) correspondería al fin de la época seca. El río ha ocupado la totalidad del cauce con profundidades semejantes.

El del 10 de enero de 2019 (P3) muestra el cauce erosionado tras el paso de los primeros picos de crecida y el P4, correspondiente al 30ene19 muestra una fuerte deposición consecuencia de la disminución brusca de caudales producida a fines de ese mes. En todos estos perfiles el thalweg se siguió recostando sobre la margen derecha



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

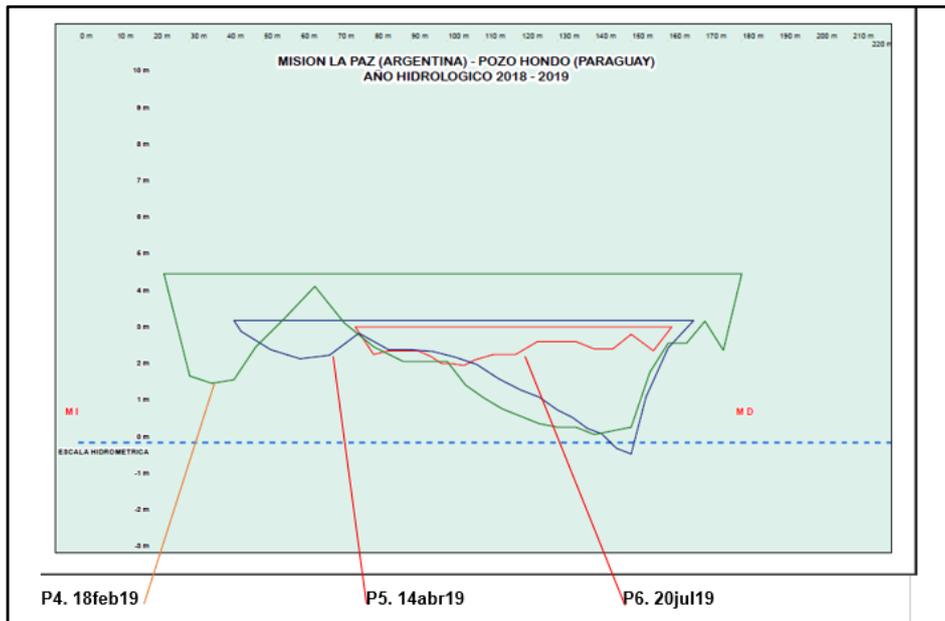


Figura N° 53 : Misión la Paz. Perfiles transversales Febrero a abril 2019

Esta figura presenta los perfiles transversales en tres situaciones finales del año hidrológico analizado.

El primero de ellos (P4) corresponde al cauce una vez pasados los dos picos mayores de crecida del año hidrológico (máxima erosión). El segundo (P5) constituye al perfil que mayor erosión produjo en el thalweg (siempre recostados sobre la margenderecha). Y, finalmente, el tercero (P6) constituye el perfil final del año hidrológico después de un lento proceso de sedimentación desde la fecha del P5, que llevó a su thalweg a su nivel habitual de 2m.

A diferencia de Villa Montes, se puede apreciar, en las variaciones de las secciones del cauce a lo largo del año hidrológico, que la sección es altamente inestable.

Así lo demuestra la Figura N° 54, en la que se presentan las curvas altura – caudal (H-Q) correspondientes a los años hidrológicos 2013-2014 al 2018-2019.



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

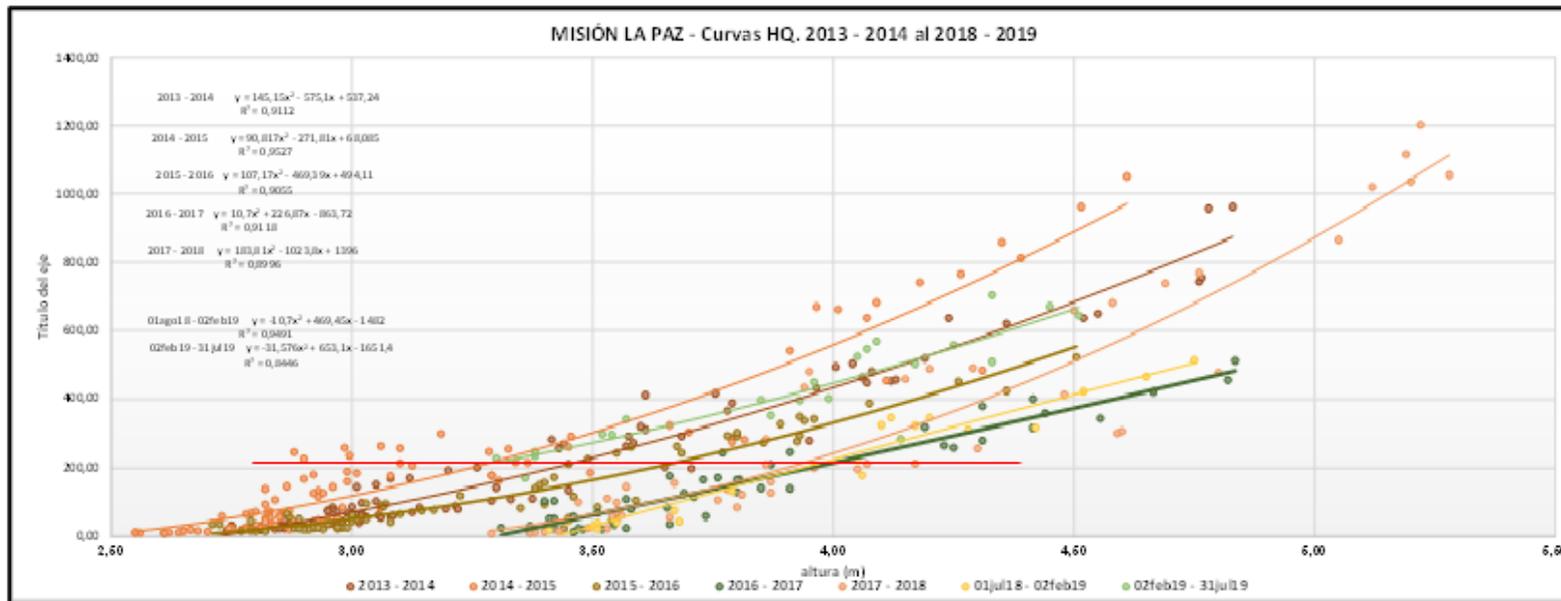


Figura Nº 54. Misión la Paz. Curvas H-Q, período 2013-2014 al 2018-2019



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

Al igual que en años anteriores, se puede comprobar que a un caudal de 200 m<sup>3</sup>/s (línea roja horizontal) para el año hidrológico 2014 – 2015 le corresponde una altura de escala de 3.20m, aproximadamente.

Para el año siguiente (2015 – 2016) una altura de 3,60m, para el 2016 – 2017 una altura de 3,95m y, a partir de entonces, con la ocurrencia de las crecidas estivales de los años 2017 – 2018 y 2018 – 2019, que volvieron erosionar el cauce (Figura N° 50), la curva HQ del período posterior a las crecidas del año 2019 encuentra a los 200 m<sup>3</sup>/s a una altura de 3,40m.

Las mencionadas crecidas 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.

## TRASLADO DE CRECIDAS

Con los registros de las estaciones automáticas de Talula, Puente Aruma, Villa Montes y Misión La Paz se calcularon los tiempos de traslado del pico de crecida entre las estaciones mencionadas.

Se analizaron dos crecidas: la de principios de enero, de las primeras ocurridas y la de principios de febrero, que llegó a los niveles máximos del año hidrológico.

ESTACIÓN	FECHA Y HORA PICO	TIEMPO TRASLADO (días)	TIEMPO TRASLADO (hs)	FECHA Y HORA PICO	TIEMPO TRASLADO (días)	TIEMPO TRASLADO (hs)
TALULA	4-1-19 12:00			2-2-19 19:00		
PUENTE ARUMA	5-1-19 18:45	1,28	30,75	3-2-19 17:45	0,95	22,75

ESTACIÓN	FECHA Y HORA PICO	TIEMPO TRASLADO (días)	TIEMPO TRASLADO (hs)	FECHA Y HORA PICO	TIEMPO TRASLADO (días)	TIEMPO TRASLADO (hs)
PUENTE ARUMA	5-1-19 11:30			3-2-19 17:45		
VILLA MONTES	5-1-19 18:00	0,27	6,5	4-2-19 6:30	0,53	12,75



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

ESTACIÓN	FECHA Y HORA PICO	TIEMPO TRASLADO (días)	TIEMPO TRASLADO (hs)	FECHA Y HORA PICO	TIEMPO TRASLADO (días)	TIEMPO TRASLADO (hs)
VILLA MONTES	5-1-19 18:00			4-2-19 6:30		
MISIÓN LA PAZ	7-1-19 21:00	2,13	51	6-2-19 11:30	2,21	53,00

Tabla N° 14 tiempos de traslado picos de crecida año 2018 - 2019

El tiempo de traslado promedio entre crecidas seleccionadas desde el año 2017 se presenta en la tabla N° 13

**Comentado [LERO2]:** Me parece que no es la 13, porque no corresponde a ninguna de las cercanas

ESTACIÓN	TALULA		PUENTE ARUMA		VILLA MONTES	
	distancia (km)	tiempo (hs)	distancia (km)	tiempo (hs)	distancia (km)	tiempo (hs)
PUENTE ARUMA	335	32				
VILLA MONTES			125	10		
MISIÓN LA PAZ					206	38

**Comentado [LERO3]:** "Distancia" entre que lugares Talula y.... No me doy cuenta de donde a donde

Tabla N° 15: tiempos promedio de traslado pico de crecida



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

Fecha de crecida	TIEMPO TRASLADO (hs) VILLA MONTES -MISIÓN LA PAZ
21-22 de enero de 2013	33
1 - 3 de febrero de 2014	37
15-16 de febrero de 2015	30
1 - 3 de marzo de 2015	27
28-29 de febrero de 2016	34
27-29 de febrero de 2017	44
1 - 2 de abril de 2017	34
05-07 diciembre de 2017	36
21-24 enero 2018	51
2-4 febrero 2018	50
12-13 febrero 2018	31
08-10 marzo 2018	38
20-22 de diciembre de 2018	45
5 - 7 de enero de 2019	31
4 - 6 de febrero de 2019	44
13-14 febrero 2019	29
21-22 marzo 2019	24

Tabla N° 16 Comparación tiempo de traslado entre Villa Montes – Misión La Paz

En la Tabla N° 16 se aprecia que los tiempos de traslado registrados en la crecidas de diciembre de 2018 y febrero de 2019 fueron altos, pero no mayores que los del año hidrológico anterior (los mayores de todos los registrados analizados). Ello puede haberse debido a una mayor ocupación de planicies de inundación laterales, ensanchamiento del cauce y disminución de velocidades de escurrimiento.

## DERRAMES

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.



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

La Tabla N° 17 muestra los derrames acumulados en la estación Villa Montes.

2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Derrames acumulados				
6.432	3.269	2.742	7.594	8.384

Tabla N° 17 Villa Montes. Derrame acumulado (hm3)

Como se observa en la Tabla N° 17 , para el año hidrológico 2018-2019 el derrame acumulado fue el máximo respecto de los años hidrológicos analizados.

La Tabla N° 18 muestra los derrames acumulados en la estación Misión La Paz

2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
derrames acumulados				
7699	5264	4032	9667	8616

Tabla N° 18 Misión la Paz. Derrame acumulado (hm3) \*

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

Como se observa en la Tabla N° 18 para el año hidrológico 2018-2019 el derrame acumulado fue el máximo respecto de los años hidrológicos analizados con excepción del año 2017 - 2018.

MLP	7699	5264	4032	9667	8616
VM	6432	3269	2742	7594	8384
diferencia	1267	1995	1291	2073	233

Tabla N° 19: Diferencia de derrames anuales (hm3)



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

Respecto de los derrames, de acuerdo a la Tabla N° 19, 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.



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

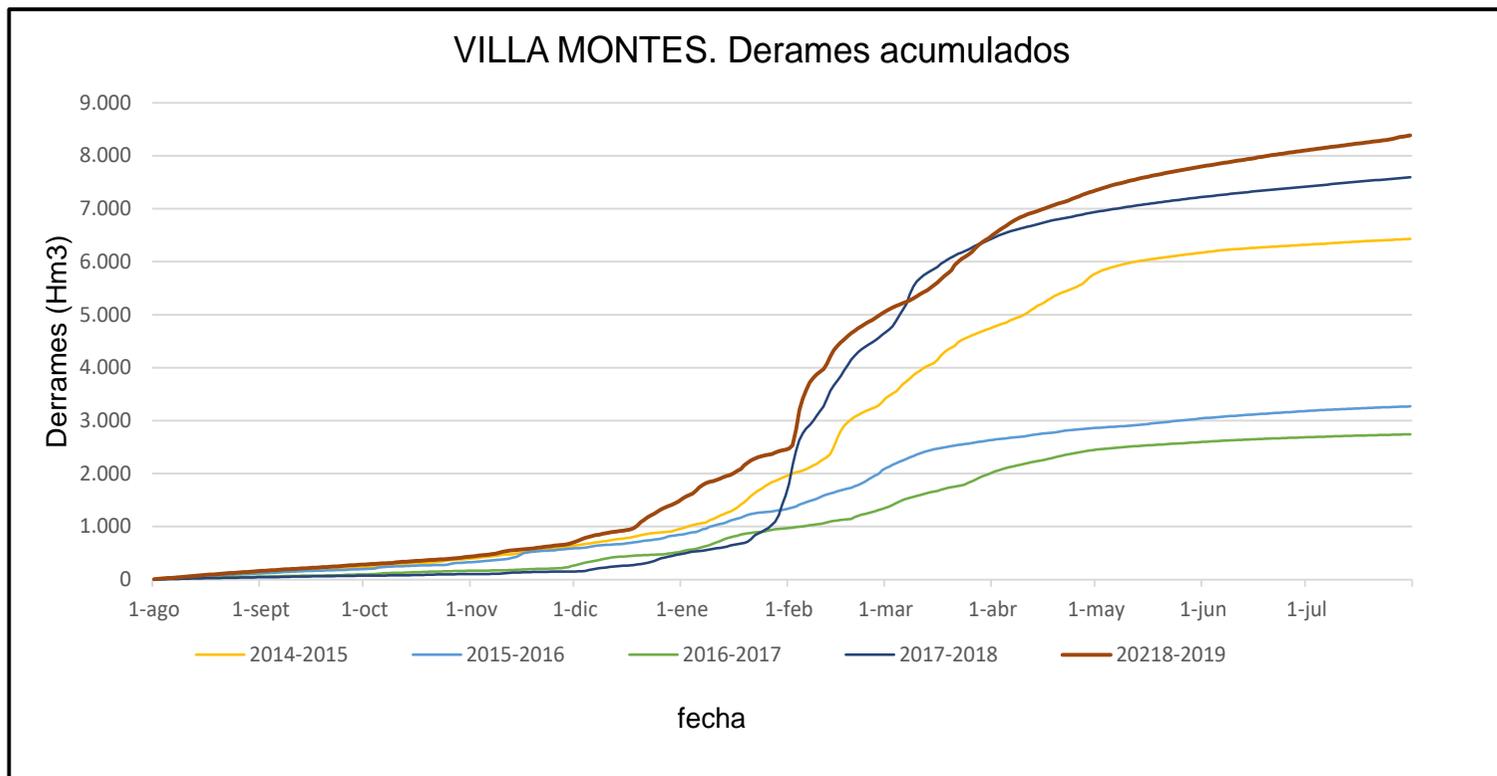


Figura Nº 55. Villa Montes. Derrames acumulados (hm³).



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

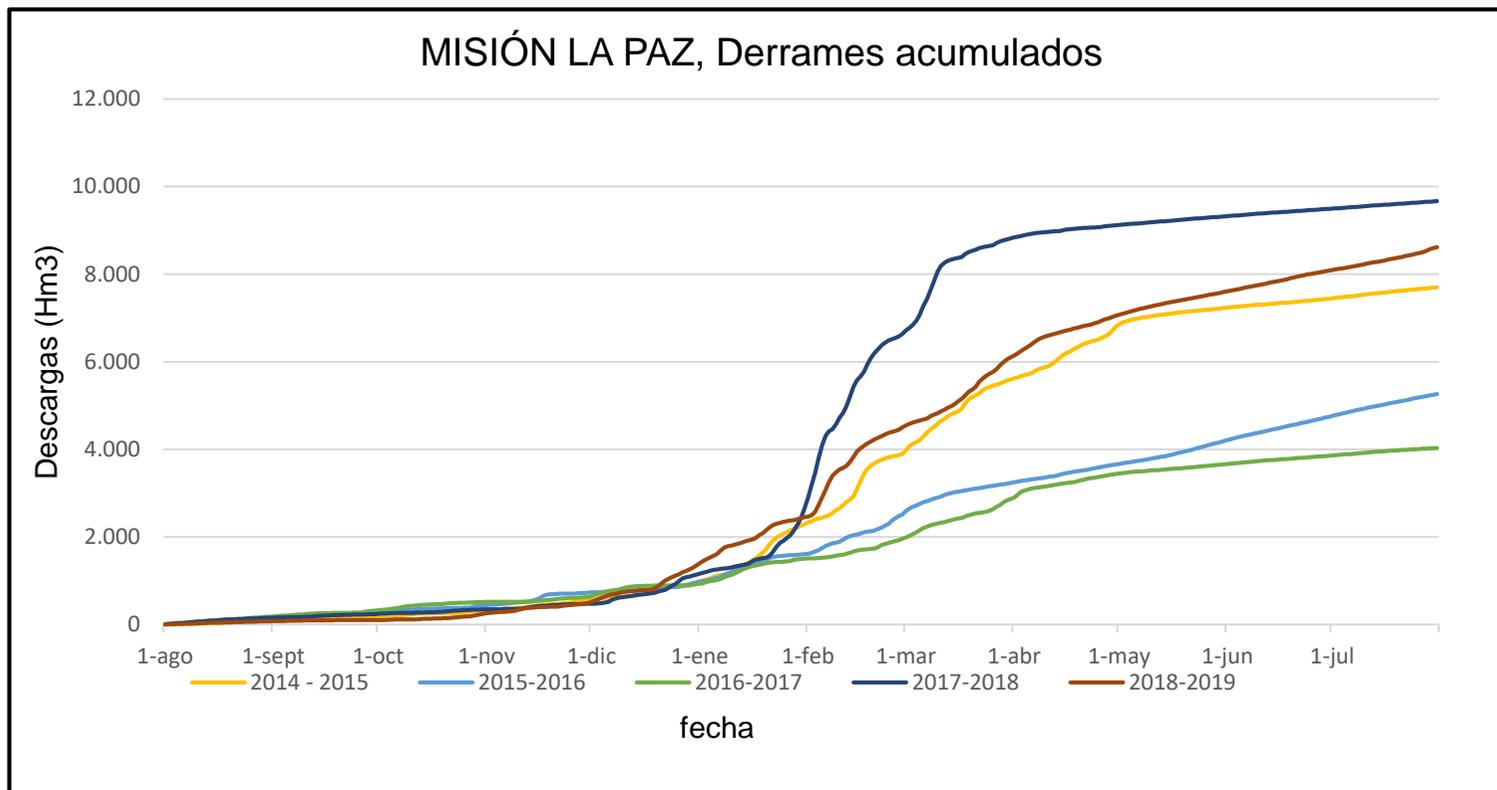


Figura N° 56. Misión La Paz. Derrames acumulados (hm3).



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

## CONCLUSIONES

- Las precipitaciones registradas durante el verano del año hidrológico en estudio, aunque inferiores a las del 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 fueron 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 enfatiza, una vez más, 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 enfatiza, una vez más, la recomendación de 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.