# HIDROLOGÍA

Alex Ovando (INE Sao Paulo), Franck Timouk (IRD), Marcio Moraes, (INPE), Martinez Jean Michel (IRD)

## 1 Introducción

Con una superficie total de 7450 km², la cuenca del Parapeti del estudio se divide en tres subcuencas que empezan rio ariba con la estación de Muyupampa y que se termina a las estaciones de San Antonio de Parapeti rio abajo. *(Figura 1)*

Las mediciones hidrológicas en el Parapetí han empezado con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología en los anos 70s con dos estaciónes: un teleférico *(figura 2)* instalado río arriba de la posición del actual radar de San Antonio y una otra al antiguo puente de Camiri a Chorety, en casi en el mismo lugar que el nuevo radar instalado durante el proyecto *(tabla1)*.

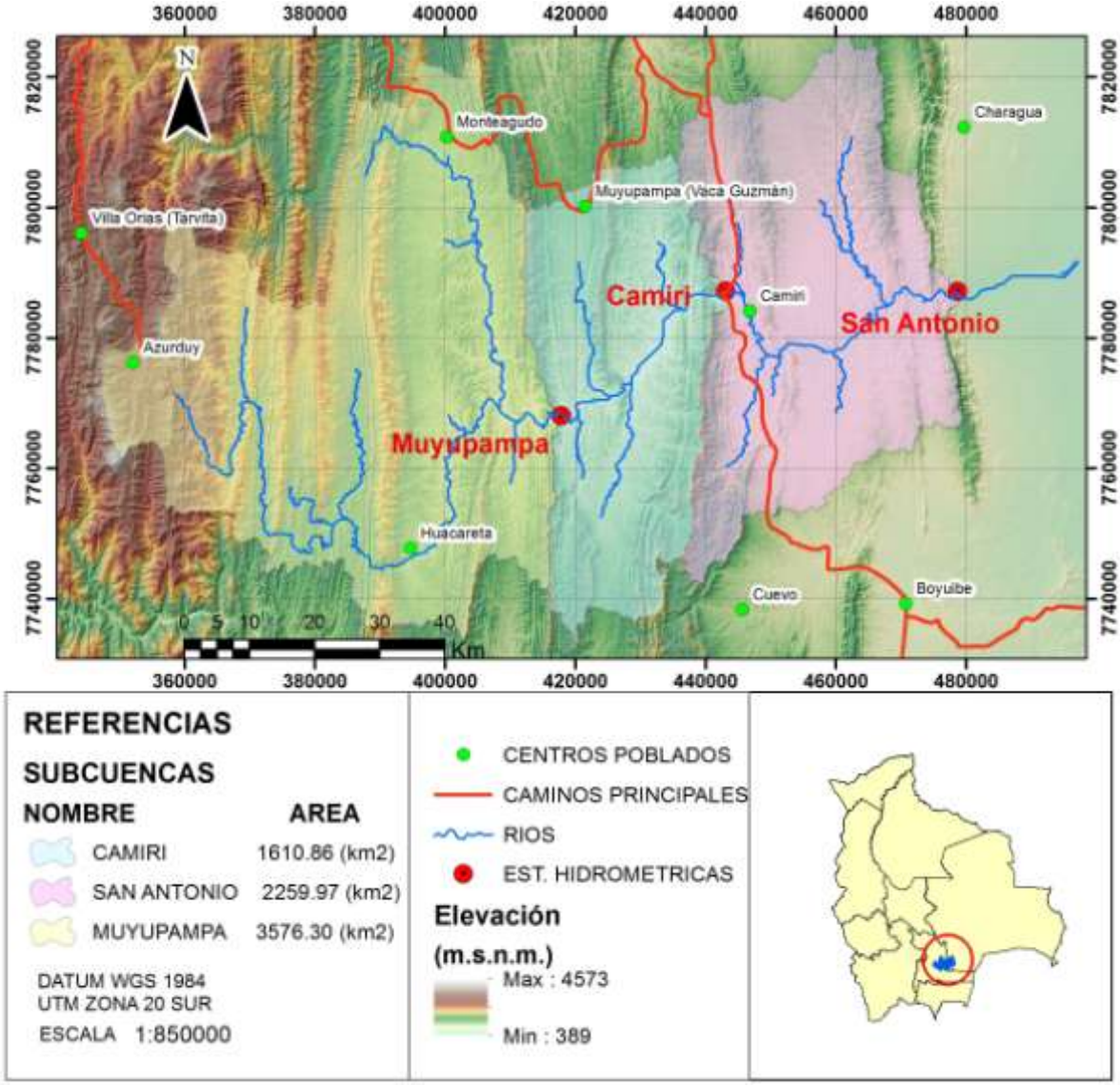



Figura 1: Subcuencas del Parapeti de tres estaciones hidrológicas automática

| Estación | Lat | Long | Inicio | final |
|---|---|---|---|---|
| San Antonio Teleférico | -20.018528° | -63.207460° | 31/01/1975 | 30/03/1994 |
| Chorety (Camiri) | -20.01333° | -63.54583° | 02/08/1974 | 29/06/1993 |

*Tabla 1: coordenadas y periodo de funcionamiento de las estaciones hidrológicas históricas en el río Parapetí*

*Figura 2: Lugar de la antigua estación de San Antonio del Parapetí, teleferico y regla (1974 – 1985)*

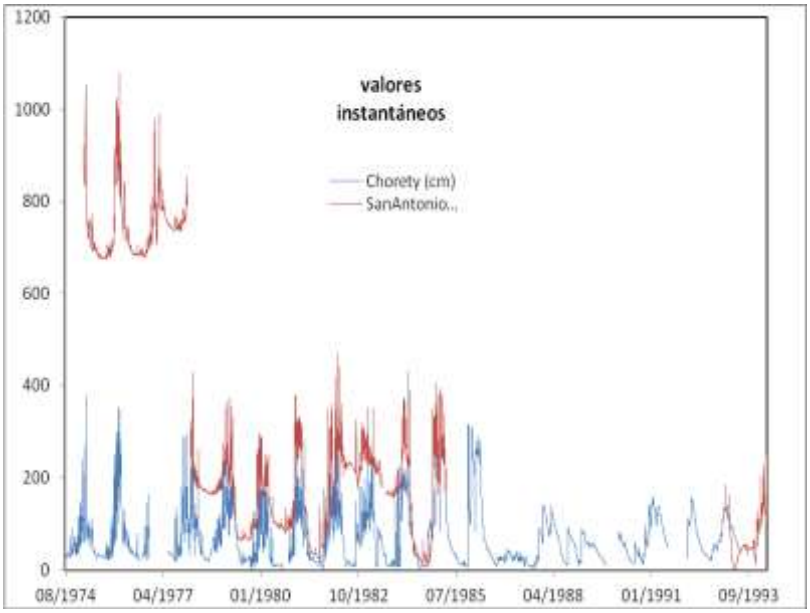



*Figura 3: Niveles de agua (cotas diarias en bruto) en las estaciones hidrológicas de Chorety (Camiri) y San Antonio 1974 – 1994*

Hasta ahora, no tenemos los informes para explicar los cambios de las cotas medidas entre augusto 1974 y marzo 1994 *(figura 3)*. Los datos para el período de 1983 a 1994 no están suficiente validados para reconstruir las series, pero tenemos una buena idea de las cotas de la primera década para calcular los caudales con los aforos realizados a esta época ; 16 aforos a Chorety y 2177 aforos con molinete al teleférico de San Antonio *(Figura 4)* durante los 19 años de funcionamiento.

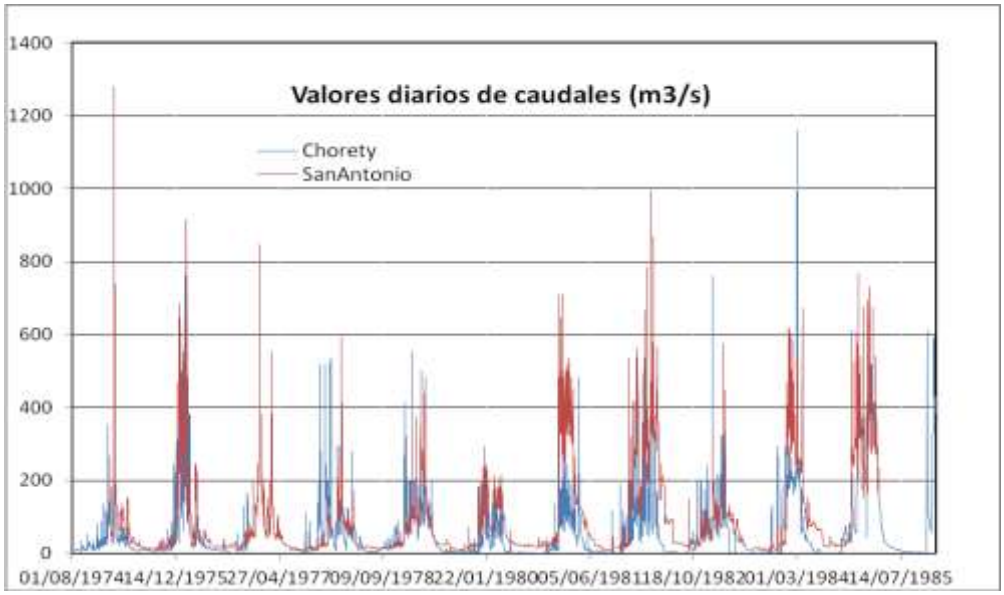



*Figura 4 : Caudales del Parapetí con los valores corregidos de nivel de agua en Camiri (Chorety) y San Antonio del Parapetí de 1974 hasta 1985*

El 27 de Julio 2013 se inició la instalación de los medios de estudio. Así tenemos una base de datos de 130.000 valores de nivel de agua sobre las dos antiguas estaciones más las tres nuevas estaciones, 32 aforos reciente hecho con molinete y después con un medidor de corriente ADCP, por fin con una pistola radar (*tabla 2)*.

Es de notar que el SEARPI de Santa Cruz tiene datos intermedios de niveles de agua por el periodo 1993-2013 que son difíciles de obtener. El SEARPI* de Santa Cruz hace mediciones de nivel del rio cada dia y recolección de muestras para analizar la calidad del agua. Hasta ahora el SEARPI no comparte los datos históricos. *(* brazo técnico y operativo del Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz en hidrología y encauzamiento de ríos del Departamento).*

| Estación | Sensor * | Descripcióncon | Numero Valores | Fecha inicio | Fecha final | Administrador |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Camiri | IA | Cotas Automática | 32272 | 26/07/2013 | 03/04/2017 | IRD/ SENAMHI |
| Camiri | IE | Datos Originales | 5693 | 01/07/2013 | 23/02/2014 | IRD/ SENAMHI |
| Camiri | JA | Cotas Automática | 1346 | 27/07/2013 | 02/04/2017 | IRD/ SENAMHI |
| Camiri | JE | Datos Originales | 236 | 02/07/2013 | 22/02/2014 | IRD/ SENAMHI |
| Camiri | MA | Cotas Automática | 15 | 16/07/2013 | 16/11/2014 | IRD/ SENAMHI |
| Camiri | ME | Datos Originales | 6 | 16/07/2013 | 16/02/2014 | IRD/ SENAMHI |
| Chorety | IE | Sensor Importado | 8236 | 01/08/1974 | 30/06/1993 | SENAMHI |
| Chorety | JE | Sensor Importado | 6298 | 02/08/1974 | 29/06/1993 | SENAMHI |
| Chorety | ME | Sensor Importado | 196 | 16/08/1974 | 16/06/1993 | SENAMHI |
| Muyupampa | IE | Estación Automática horas | 20545 | 27/11/2014 | 03/04/2017 | IRD/ SENAMHI |
| Muyupampa | JE | Estación Automática diarias | 857 | 28/11/2014 | 02/04/2017 | IRD/ SENAMHI |
| SanAntonio | IE | Datos originales | 7879 | 31/01/1975 | 31/03/1994 | SENAMHI |
| SanAntonio | I1 | Datos criticados horas | 7879 | 31/01/1975 | 31/03/1994 | SENAMHI |
| SanAntonio | J1 | Datos criticados diarias | 4069 | 31/01/1975 | 30/03/1994 | SENAMHI |
| SanAntonio | IA | Estación Automática horas | 32336 | 26/07/2013 | 03/04/2017 | IRD/SENAMHI |
| SanAntonio | JA | Estación Automática diarias | 1346 | 27/07/2013 | 02/04/2017 | IRD/SENAMHI |

*Código en la base hydraccess al SENAMHI de La Paz ( I : instantánea, J : Diarias, M : mensual)

*Tabla 2: Inventario de los datos disponibles en la base de datos "hydraccess" sobre el Río Parapetí*

# 2 Monitoreo hidrológico actual de los ríos Parapetí y Grande

## 2.1 Monitorio actual del Río Parapetí

Los tres radares OTT RLS funcionan con datalogger DuoSense *(tabla 3).* Varios problemas tecnicos o logísticos han ocurrido:

- El radar de Camiri desapareció el 3/10/2015.
- Hubo un fallo de la batería en San Antonio del 10/02/2016 01:00 hasta el 27/05/2016 07:00
- Se robó la batería del radar de Muyupampa el 07/07/2016 13:00:00, fue remplazada el 15/10/2016 11:00

| *Estación* | *Lat* | *Long* | *Distancia a la orilla (cm)* | *Altitud (msnm)* |
|---|---|---|---|---|
| Camiri | S20°0.82' | W63°32.769' | 132 | 818.58 (+-0.034 m GPS diff) |
| San Antonio | S20°0.778' | W63°12.159' | 270 | 632.9 (+-0.026 m GPS diff) |
| Muyupampa | S20°10.907' | W67°47.225' | Medio del puente | 934.8 (+-0.025 m GPS diff) |

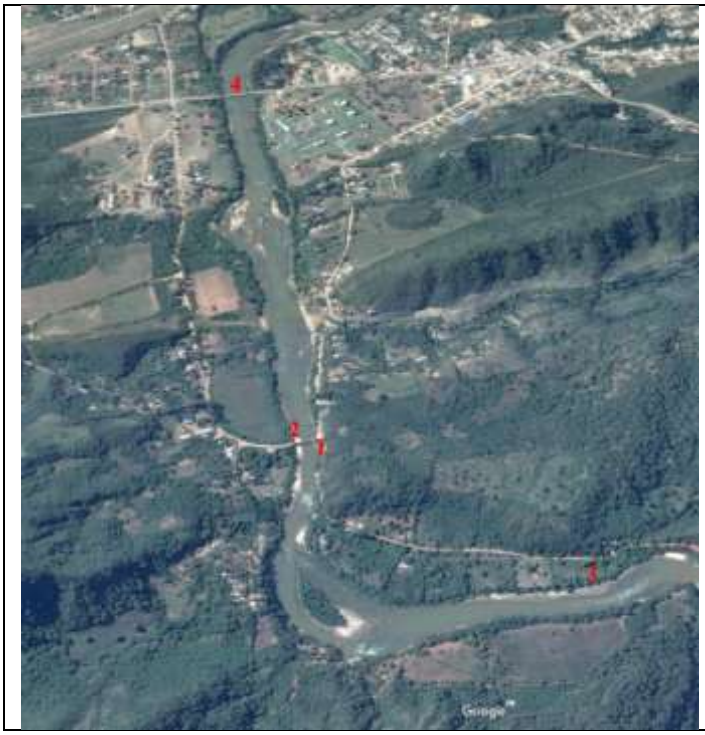
*Tabla 3 : Ubicación de los Radares OTT RLS instalado en 2013 et 2014, y elevación sobre el nivel del mar de los sensores medida con GPS diferencial.*

### 2.1.1 Camiri- Chorety

Un nuevo radar fue instalado el 1$^{ero}$ julio del 2013 en el antiguo puente arriba de Camiri (Chorety). Fue fijado en el pilar de una infraestructura de concreto, antigua estación de bombeo. Un avispero se instaló en la caja metálica de protección del radar. A contrario de las dos otras estaciones del Parapetí, varios aforos durante aguas altas están imposible de hacer. Por ejemplo el aforo de febrero 2015 no pudo realizarse debido a un flujo de agua y de material asociado demasiado importante por el material de medición disponible molinete o ADCP *(figura 4)*. Al fin del año 2016, hemos adquirido una pistola radar para medir las velocidades de superficie en este caso *(tabla4)*.

Figura 4: crecida del 28/02/2015

La colecta de muestra de sedimento para medir el caudal solido del rio no se realizó en 2014 y 2015. Los observadores locales contratados no han hecho el trabajo correctamente. Desde octubre 2016 una nueva observadora se encarda de la colecta río arriba de la estación (Mariquéna Antoniez Cell 71033286).



(1) Radar robada en octubre 2015

(2) Antigua estación de Chorety

(3) Sitio de recolección de las muestras de sedimentos

(4) Mediciones del SEARPI al nuevo puente

RADAR OTT RLS Camiri, puente viejo (1)

*Figura 5: Resumen de los dispositivos de medición de Camiri*

Ya que se robó el radar, los datos de nivel son actualmente interpolados a partir de las dos estaciones localizadas aguas arriba (Muyupampa) y aguas abajo (San Antonio). La empresa ENDE ha instalado una nueva regla sobre la roca en la orilla derecha en 2016 pero no se pudo obtener los datos.

| Date | H cm | Q $m^3/s$ | Flujo promedio (m/s) | Modo de operación |
|---|---|---|---|---|
| 01/07/2013 14:45 | 573 | 11 | 0.3 | Molinete en Escandallo |
| 27/08/2013 15:35 | 569 | 8 | 0.2 | Molinete en Escandallo |
| 26/09/2013 16:05 | 565 | 5 | 0.2 | Molinete en Escandallo |
| 01/11/2013 08:00 | 568 | 7 | 0.3 | Molinete en Escandallo |
| 01/06/2014 08:00 | 603 | 19 | 0.5 | Molinete en Varilla |
| 26/11/2014 17:00 | 588 | 16 | 0.5 | Molinete en Escandallo |
| 21/06/2015 15:30 | 599 | 19 | 0.1 | Molinete en Escandallo |
| 01/09/2015 16:00 | 572 | 10 | 0.1 | Molinete en Escandallo |
| 22/11/2015 16:05 | 568 | 12 | 0.7 | Molinete en Varilla |
| 30/03/2016 15:15 | 645 | 52 | 0.8 | Molinete en Escandallo |
| 14/10/2016 09:30 | 576 | 5 | 0.0 | ADP Sontek |
| 03/04/2017 14:45 | 760 | 112 | 1.0 | ADP Sontek + pistola |
| 04/04/2017 10:30 | 760 | 111 | 0.9 | ADP Sontek + pistola |

*Tabla 4: Fechas de misiones y resultados de los aforos por la Estación de Camiri-Chorety*

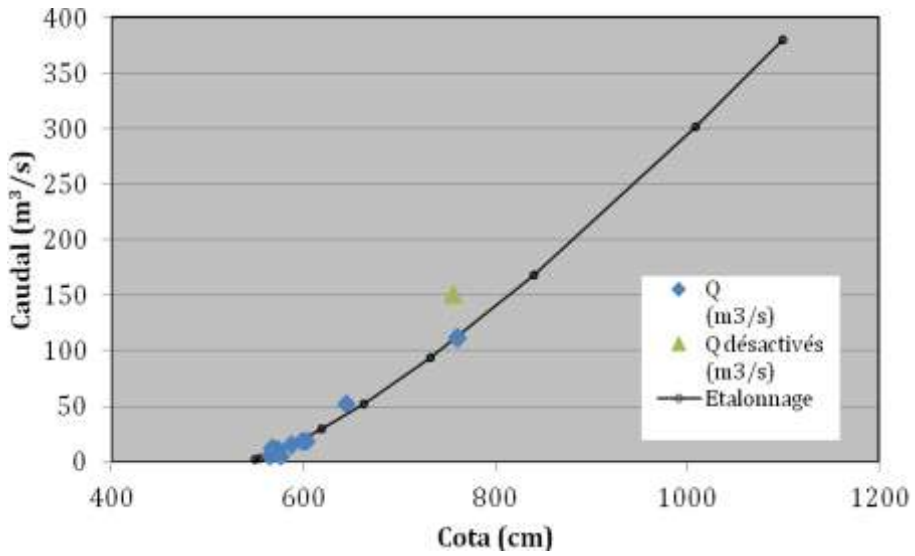



*Figura 6 : Curva de calibración de la estación hidrológica radar de Camiri-Chorety (periodo 2014-2017).*

### 2.1.2 San Antonio del Parapetí

El radar de San Antonio se instaló el 28 de agosto del 2013. Está fijado en un par de fieros anclados en una pared de roca. El acceso se hace a través de una puerta en un antiguo refugio de ladrillos. La puerta metálica fue forzada durante el 2014 pero el material no sufrió daño o extravió. Como el sitio está alejado de las habitaciones no es posible contar con un cuidador local.
El acceso a la estación de medición es difícil. Por lo tanto, los aforos están realizados mediante un molinete desde el puente del ferrocarril a la entrada del pueblo y 2km río abajo de la estación o con un ADP Sontek desde la playa cerca del radar. En época de aguas bajas, la sección del río presenta

bancos de arena. Lamentablemente, el aforo del mes de febrero del 2015 fue realizado un día después de una fuerte crecida.

*Figura 7: puente ferrocarril de San Antonio, sitio de aforo con molinete*

*(1) Sitio del radar*

*(3,4) y de los aforos actuales 2013-2017*

*(2) Lugar de los mediciones antiguas con téléférico y regla 1975 – 1994*

radar OTT RLS de San Antonio (1)

*Figura 8: Resumen de los dispositivos de medición de San Antonio de Parapeti*

| Date | H cm | Q $m^3/s$ | Flujo promedio (m/s) | Modo de operación |
|---|---|---|---|---|
| 27/09/2013 09:55 | 702 | 6 | 0.3 | Molinete en Varilla |
| 31/10/2013 11:30 | 705 | 8 | 0.3 | Molinete en Varilla |
| 28/02/2015 12:26 | 737 | 55 | 0.9 | Molinete en Escandallo |
| 22/06/2015 11:00 | 718 | 28 | 0.5 | Molinete en Escandallo |
| 02/09/2015 12:30 | 701 | 9 | 0.4 | Molinete en Escandallo |
| 22/11/2015 08:00 | 705 | 10 | 0.3 | Molinete en Escandallo |
| 31/03/2016 12:05 | 709 | 13 | 0.3 | Molinete en Varilla |
| 13/10/2016 17:00 | 698 | 5 | 0 | ADP Sontek |

*Tabla 5: Fechas de misiones y resultados de los aforos en la estación de San Antonio*

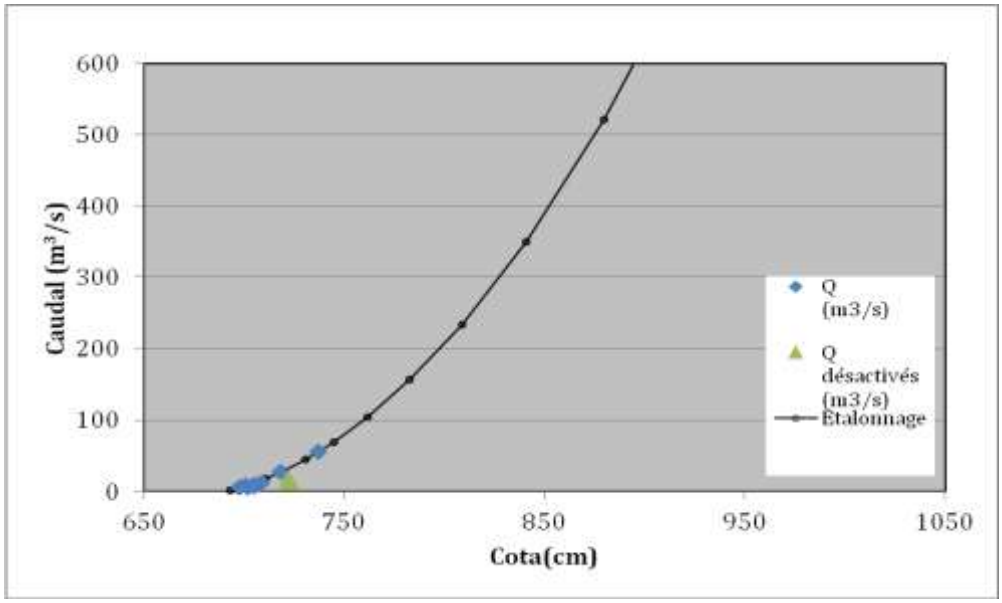



*Figura 9 : Curva de calibración de la estación hidrológica radar de San Antonio del Parapetí (periodo 2014-2017).*

### 2.1.3 Estación de Muyupampa

El sitio de instalación del radar de Muyupampa esta idealmente localizado en el medio de un puente. Las mediciones se iniciaron después de su instalación el 27/11/2014. La alcaldía de Muyupampa fue informada. No hay cuidador en el lugar. Los aforos se realizan directamente desde el puente de un ancho de unos 100 metros.

*radar OTT RLS de Muyupampa en el puente río arriba del Parapetí a unos 60 km de Muyupampa (1)*

*Figura 10: Resumen de los dispositivos de medición de Muyupampa*

| Date | H cm | Q $m^3/s$ | Flujo promedio (m/s) | Modo de operación |
|---|---|---|---|---|
| 27/11/2014 13:00 | 1201 | 94 | 1.3 | Molinete en Escandallo |
| 23/06/2015 11:55 | 1110 | 20 | 0.4 | Molinete en Escandallo |
| 01/09/2015 08:00 | 1085 | 6 | 0.2 | Molinete en Escandallo |
| 01/04/2016 10:00 | 1144 | 47 | 0.8 | Molinete en Escandallo |
| 15/10/2016 11:00 | 1078 | 0 | | ADP Sontek |
| 03/04/2017 00:00 | 1235 | 120 | 1.6 | ADP Sontek |

*Tabla 6: Fechas de misiones y resultados de los aforos por la estación de Muyupampa*

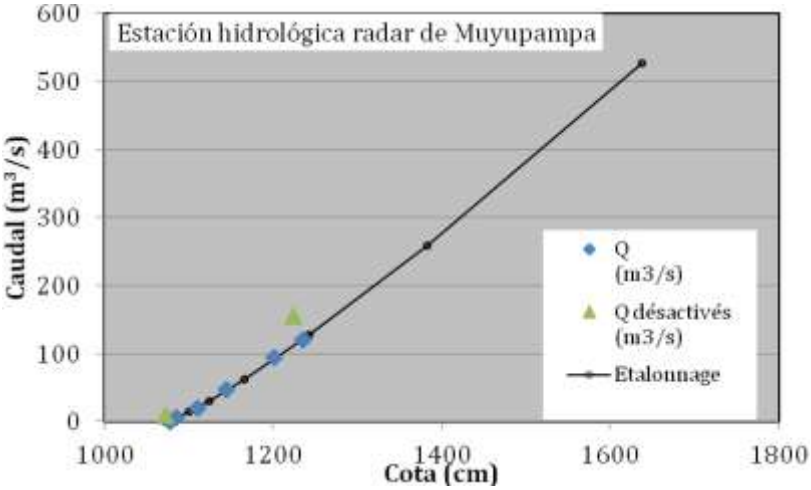



*Figura 11: Curva de calibración de la estación hidrológica radar de Muyupampa (periodo 2014-2017).*

### 2.1.4 Resultados de niveles de agua y caudales en el Río Parapetí por el periodo 2013-2016

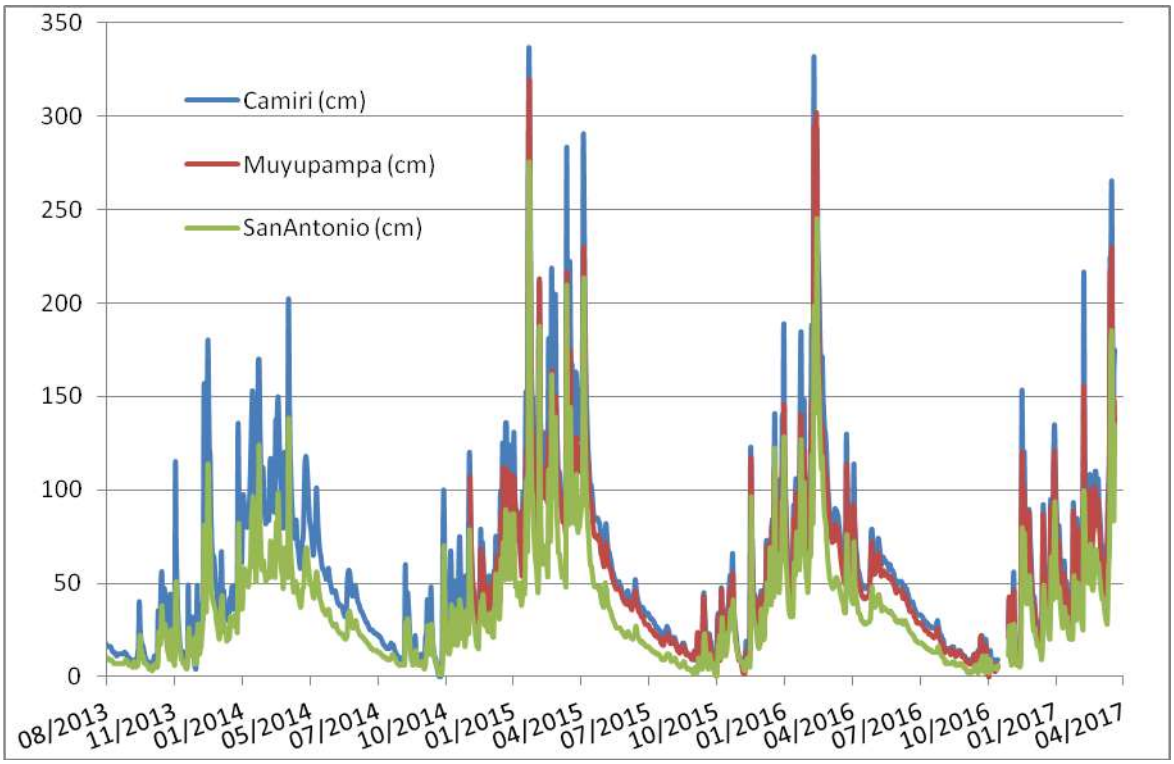



*Figura 12:* ***Variación temporal diario de los niveles hidrológicos en las tres estaciones radares del río Parapetí (el cero corresponde a la altura relativa del cero de la escala de cada estación).***

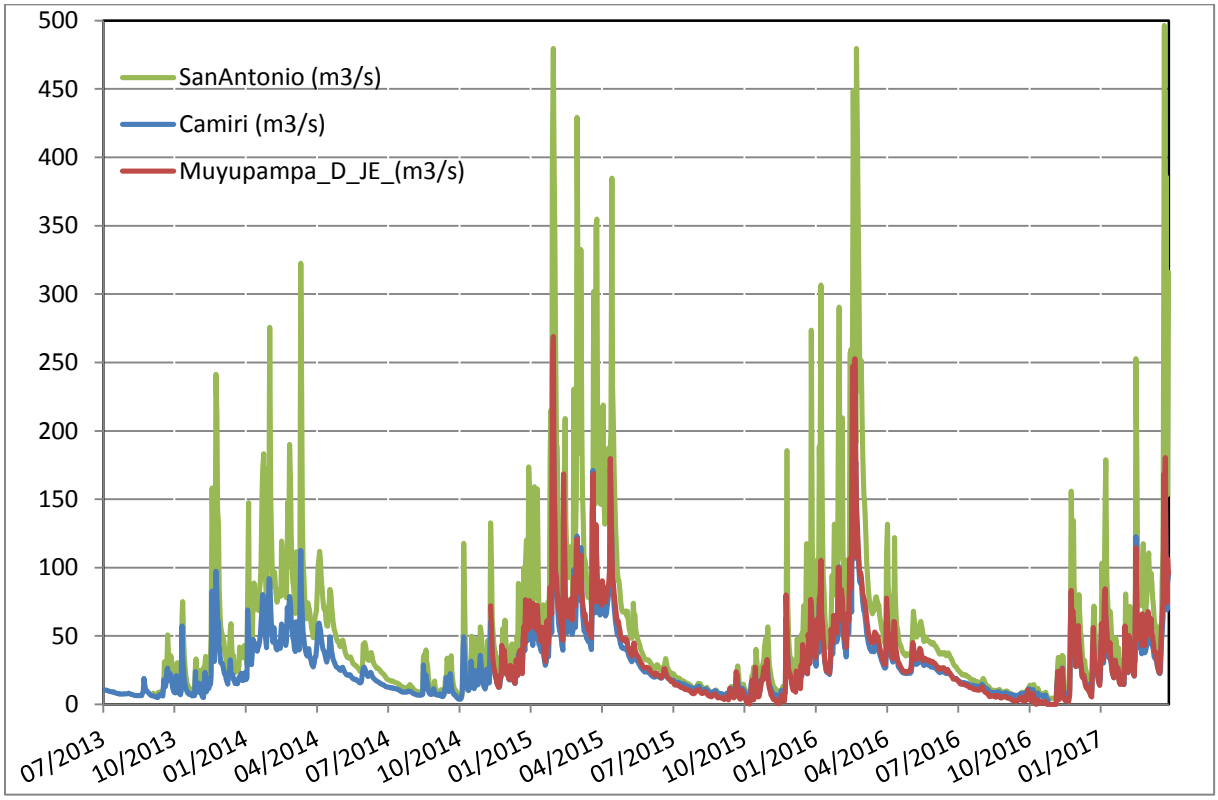
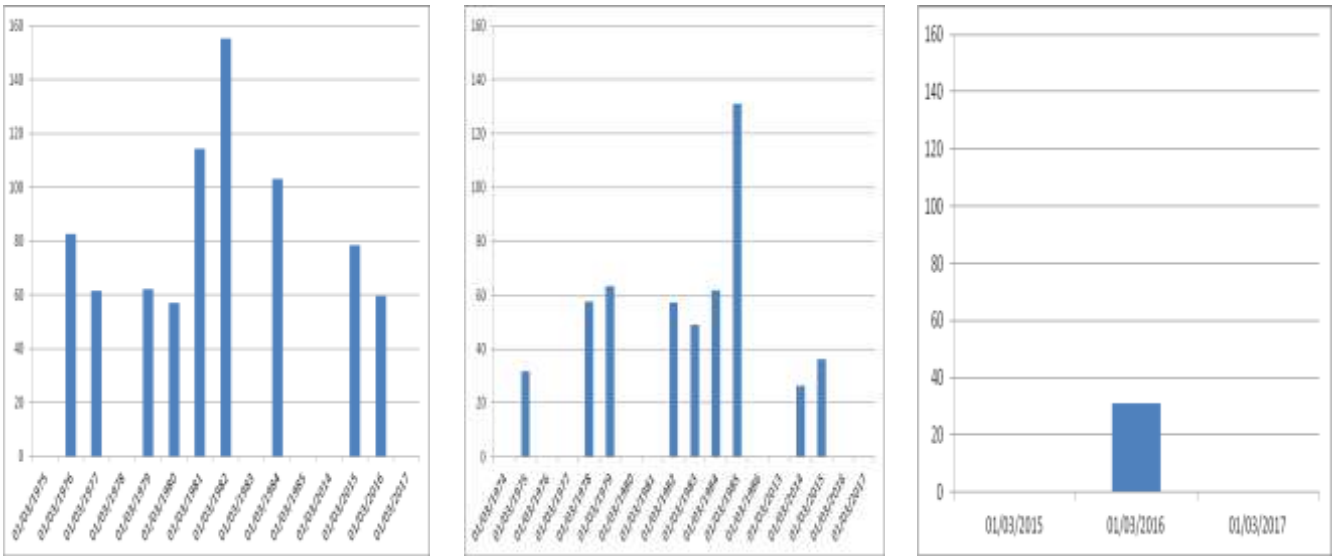



*Figura 13:* ***Variación temporal diario de los caudales en las tres estaciones radares del río Parapetí***
*(Periodo 08/2013 – 04/2017)*



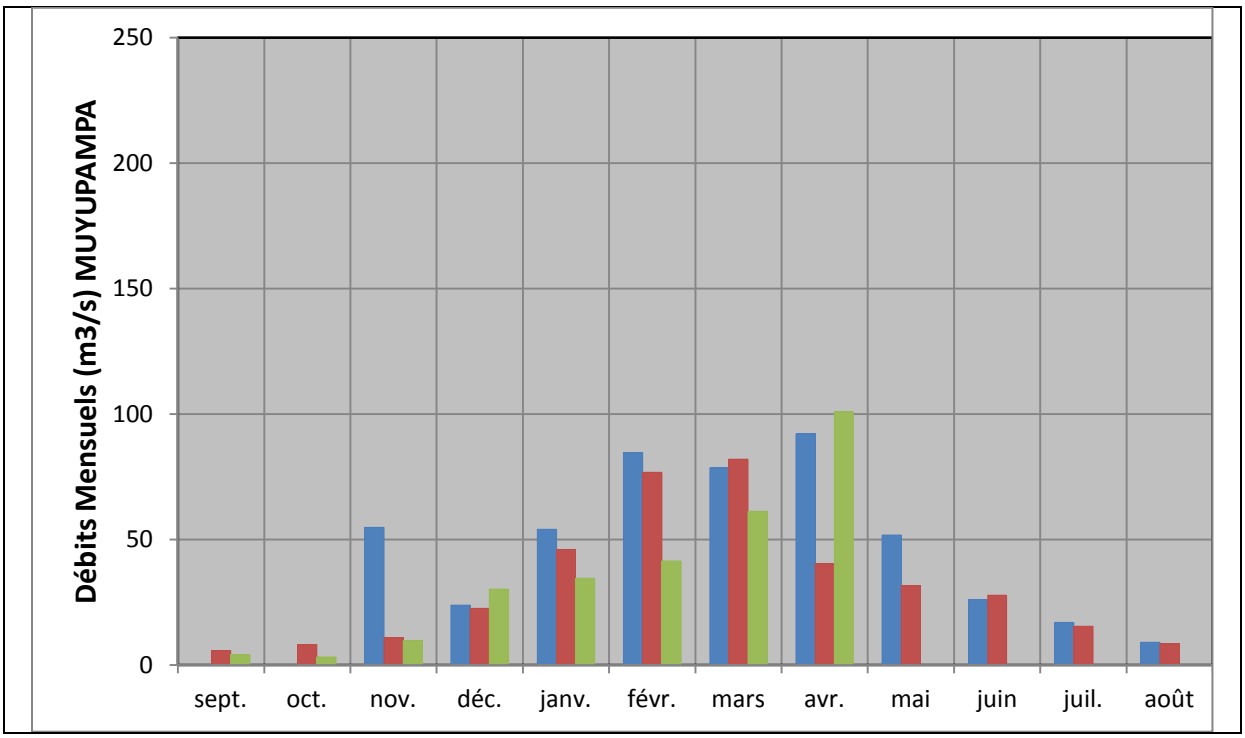

San Antonio de Parapeti | Camiri | Muyupampa

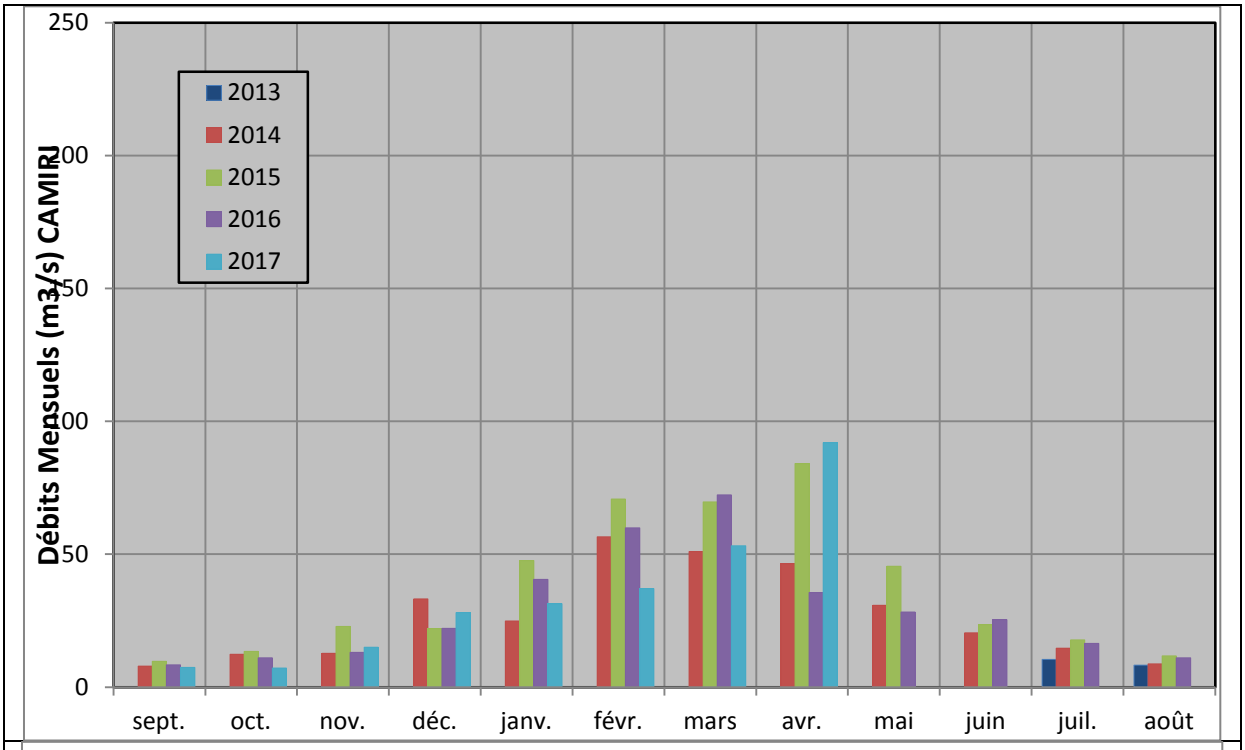
*Figura 14: Caudal anual promedio por las tres estaciones hidrológicas del río Parapetí : Muyupampa, Camari-Chorety y San Antonio del Parapetí por los períodos históricos y actuales.*
*El año hidrológico se inicia a partir del mes de septiembre.*

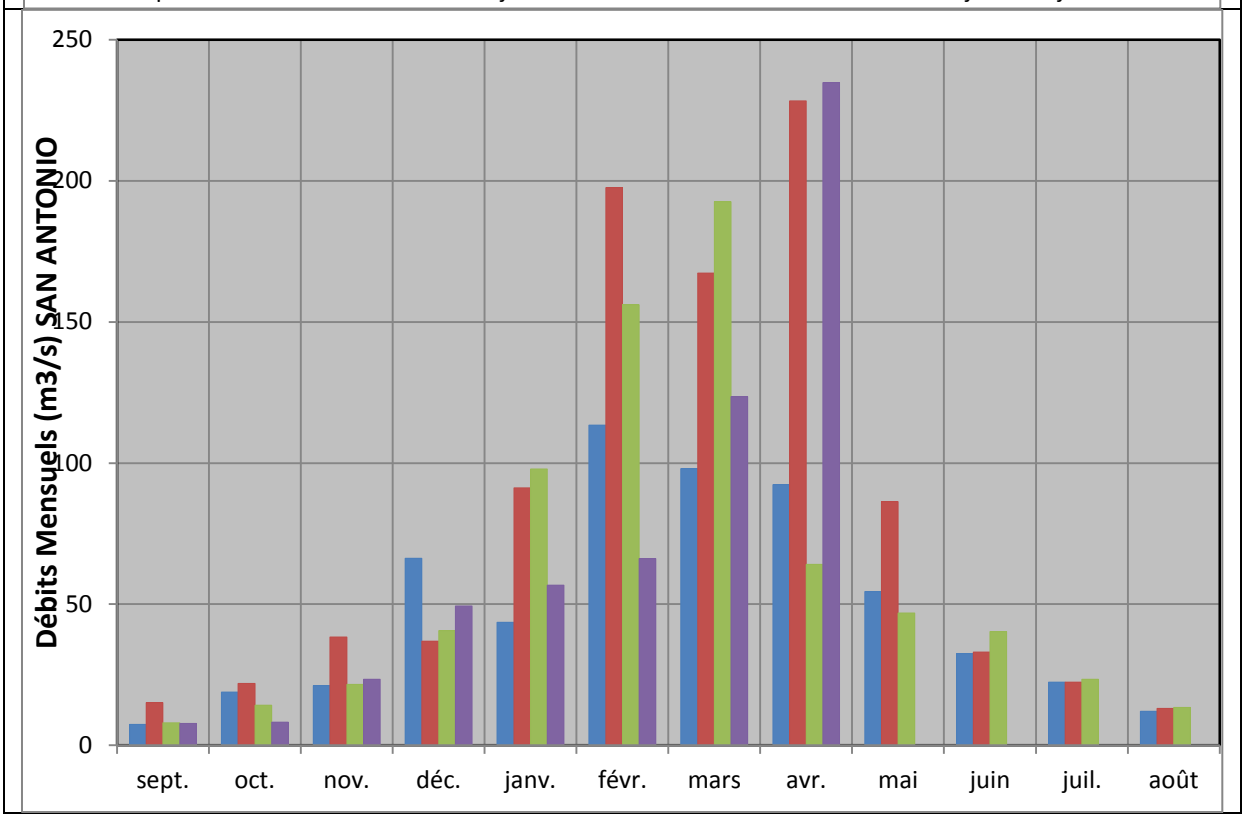
| | San Antonio | | | Camiri | | | Muyupampa | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Medio (m3/s) | día carecen | Volumen (m3) | Medio (m3/s) | día carecen | Volumen (m3) | Medio (m3/s) | día carecen | Volumen (m3) |
| **1974** | | | | 7.669 | 335 | | | | |
| **1975** | 66.84 | 154 | | 31.61 | 0 | 996 852 960 | | | |
| **1976** | 82.57 | 0 | 2 611 061 568 | 68.57 | 1 | | | | |
| **1977** | 61.57 | 0 | 1 941 671 520 | 15.04 | 233 | | | | |
| **1978** | 43.51 | 33 | | 57.57 | 0 | 1 815 527 520 | | | |
| **1979** | 62.24 | 0 | 1 962 800 640 | 63.29 | 0 | 1 995 913 440 | | | |
| **1980** | 57.04 | 0 | 1 803 741 696 | 24.76 | 2 | | | | |
| **1981** | 114.3 | 0 | 3 604 564 800 | 48.25 | 62 | | | | |
| **1982** | 155.3 | 0 | 4 897 540 800 | 57.42 | 0 | 1 810 797 120 | | | |
| **1983** | 65.02 | 33 | | 49.01 | 0 | 1 545 579 360 | | | |
| **1984** | 103 | 0 | 3 257 107 200 | 61.61 | 0 | 1 948 256 064 | | | |
| **1985** | 220.6 | 153 | | 130.9 | 0 | 4 128 062 400 | | | |
| **1986** | | | | 83.55 | 245 | | | | |
| **2013** | | | | 8.575 | 329 | | | | |
| **2014** | 51.38 | 27 | | 26.58 | 0 | 838 226 880 | | | |
| **2015** | 78.34 | 0 | 2 470 530 240 | 35.21 | 0 | 1 110 382 560 | 48.15 | 88 | |
| **2016** | 59.7 | 0 | 1 887 857 280 | 28.92 | 0 | 914 519 808 | 31.15 | 0 | 985 037 760 |
| **2017** | 50.83 | 160 | | 26.69 | 160 | | 27.01 | 151 | |

*Tabla sinóptica de los caudales y volumen anuales por las tres estaciones hidrológicas (hasta abril 2017)*

La diferencia de 7.5% de caudales y de Volumen entre la estacion de Muyupampa et de Camiri esta dentro la margen de eror de medicion echo con molinete y ADCP. No podemos confirmar la perdida de agua debito a las bombeos de aguas ariba de rio. Entonces, las mediciones sigen con los operadores del SENAMHI de La Paz.




Débits Mensuels (m3/s) CAMIRI
250
200
150
100
50
0
2013
2014
2015
2016
2017
sept.
oct.
nov.
déc.
janv.
févr.
mars
avr.
mai
juin
juil.
août


Débits Mensuels (m3/s) SAN ANTONIO
250
200
150
100
50
0
sept.
oct.
nov.
déc.
janv.
févr.
mars
avr.
mai
juin
juil.
août