

Estudios Hidrológicos en los Arroyos Jhu, Piray, Yetyty, Paraguay Oriental

Hydrologic studies at Jhu , Piray and Yetyty Brooks , Eastern Paraguay

F.Cáceres Dueñas¹, V. Parra¹, P. Alonso¹, J F Facetti Masulli^{1,2}*

1.Hydroconsult srl.; 2.Facultad de Ingeniería UNA; (Asunción Paraguay)

* jfafama@rieder.net.py

Recibido: 10/01/16

Aceptado 20/02/16

Resumen: Se presentan los resultados de los estudios batimétrico y de aforo realizados en los Arroyos Jhu, Piray y Yetyty. El primero se basa en 25 campañas de campo realizadas en dos períodos, de determinaciones batimétricas y de aforo directo conducentes a establecer su régimen hidrométrico. El segundo y el tercero, en siete campañas trimestrales. El régimen hidrométrico que exhiben el Jhu y el Piray es de tipo irregular, es decir las crecidas y bajadas de las aguas presentan alteraciones bruscas en el tiempo, mientras que el Yetyty es más estable en su nivel de aguas. En el Jhu también fue estudiado el transporte de sólidos; el mismo exhibe fuerte correlación positiva con el caudal.

Palabras claves: A° Jhu,,Piray,Yetyty, aforo, régimen hidrométrico, transporte de sólidos.

Abstract : The results of flow gauging and bathymetric survey conducted in Jhu, Piray, Yetyty Brooks are presented. They are based on 25 field campaigns (two periods) in the first, and seven in the last two for bathymetric measurements and direct gauging leading to establish its hydrometric regime. This regime that the Jhu and Piray have, is of irregular type, ie increases and decreases in the water level, constitute abrupt changes. On the other hand water level in Yetyty Brook is more stable. In addition, at Jhu Brook solids transport was also studied. It shows strong positive correlation with the flow.

Key words; Jhu, Piray, Yetyty Brooks, hydrometric regime, solids transport.

1. Introducción

El Departamento de San Pedro en la Región Oriental del Paraguay se caracteriza por su riqueza en recursos hídricos.

Además de importantes ríos afluentes del Río Paraguay como el Ypane, Jejui y sus tributarios, lo surcan un gran número de riachos y arroyos tales como el Kuarepoti, Tapiracuai, Yhu, Piray, Jetyty etc, como así también es manifiesta la presencia de

importantes humedales. Sin embargo como se mencionara en un trabajo reciente [1] respecto de los recursos hídricos, “los estudios sistemáticos publicados en relación a los regímenes hidrométricos, sus cuencas / microcuencas y sus contribuciones, sus interrelaciones y correlaciones en regímenes de crecida y estiaje, sus sedimentos, su uso como recursos sustentables etc, resultan hasta ahora limitados” [2-4].

Además, atendiendo a los impactos de los fenómenos del Niño/Niña, son de interés y de actualidad las investigaciones conducentes a la evaluación de los regímenes correspondientes a los cursos de agua permanente de los río/arroyos, así como respecto al transporte de sólidos.

Este trabajo presenta los resultados del monitoreo del régimen hidrométrico ejecutado en el arroyo *Jhu* [5] en dos periodos el primero de siete campañas trimestrales (años 1998/99) y el segundo de 18 campañas mensuales y en los arroyos Piray y Yetyty en siete campañas trimestrales

Forma parte de investigaciones en torno al comportamiento hidrológico y de calidad de aguas realizados en cuerpos de agua superficiales tanto en el Paraguay Oriental como en el Occidental [6].

2. Metodología

Puntos de aforo

Fueron establecidas una estación de aforo en el A° Jhu, dos en el Piray y una en el Yetyty. La ubicación de las mismas determinadas *in situ* es como sigue:

Coordenadas Geograficas		
Estaciones	Latitud	Longitud
P1 A° Piray	24° 25' 28" S	56° 46' 56" W
P2 A° Piray	24° 24' 53" S	56° 49' 04" W
Y1 A° Yetyty	24° 21' 12" S	56° 36' 07" W
J1 A° Yhu	24° 35' 46,86" S	56° 34' 42,58" W

Limnímetros y registros

En el sitio se instaló la regla hidrométrica calibrada a escala métrica para realizar lecturas directas diarias (dos veces por día) del nivel del agua del río. La misma se ubicó en sitio técnicamente adecuado donde el curso del agua es más definido y estable, con una sección regular y en un tramo donde la trayectoria del curso es recta. Asimismo se tuvo

cuidado en ubicar el limnómetro en relación a un punto fijo (NR, Nivel de Referencia, cota 129,50m), por posible daños, pérdidas o modificaciones que pudieran ocurrir en la nivelación de las reglas.

Los datos de las lecturas hidrométricas fueron analizados y contrastados estadísticamente con las mediciones directas de caudales para la determinación de la relación nivel-caudal.

Campañas de campo

Los estudios se realizaron en dos períodos; en el primero se ejecutaron siete campañas trimestrales de medición directa de caudales y en el segundo, 18 campañas mensuales de aforo directo.

Aforo: trabajo de campo

Para el aforo se realizaron [7] las mediciones de batimetría, nivelación y correntometría procediéndose a la determinación de la velocidad de flujo instrumentalmente o con indicadores químicos.

El primer lapso transcurrió de 07/98 a 12/99 y las siete campañas de mediciones se realizaron satisfactoriamente tanto en el *Jhu* como en el *Piray* y el *Yetyty*. El segundo, de 18 campañas mensuales se verificó desde mayo de 2011 a setiembre de 2012 en el *Jhu*.

3.-Resultados y Análisis

3.1 Arroyo Jhu

Período 1

Los datos limnimétricos indican que entre los meses de septiembre y diciembre de 1998 se presentaron los caudales ligeramente más altos. Los niveles, también ligeramente más bajos se han producido entre los meses de septiembre a diciembre de 1999. Los valores más resaltantes de dichos registros se indican en el cuadro 1:

Cuadro 1

Estación	h Promedio General	h Máximo Absoluto (*)	h Mínimo Absoluto (*)
Yhu	0.88 m	1.90 m (19-JUN-99)	0.60 m (30-NOV-99)

(*) Se consideró el primer valor histórico registrado

En relación a las campañas de aforos de caudales realizados, los máximos y mínimos valores corresponden evidentemente a las establecidas por las lecturas limnimétricas. Estos caudales máximos, mínimos y en promedio se presentan en el cuadro 2:

Cuadro 2

ESTACION	Q Promedio Estimado m3/seg	Q Máximo Registrado m3/seg	Q Mínimo Registrado m3/seg
Yhu	0.6846	5.4397 (26-06/-98)	0.3301 (16-10-99)

En la **Tabla 1** se muestran los resultados de los aforos en las siete campañas y los registros de las alturas concomitantes de los niveles.

Tabla 1 Valores nivel-caudal

Campaña	h (m)	Q (m³/s)
1	1,03	1,001
2	1,6	5,4397
3	0,79	0,6402
4	1,03	1,0888
5	0,88	0,8412
6	0,67	0,3301
7	0,68	0,3321

En la **fig 1** se grafican esas relaciones:

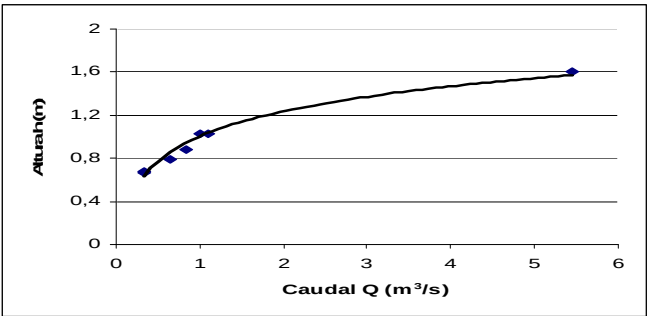


Fig 1. Relación nivel caudal en el primer período.

La curva ajustada logarítmicamente permite establecer la ecuación (1) con alto valor de correlación.

$$h = 0,3346 \ln (Q) + 1.0045 \qquad R^2 = 0,97 \quad (1)$$

Período 2

Posteriormente en un segundo lapso de mayo/2011 a Setiembre 2012 fueron cotejados estos datos en 18 campañas mensuales cuyos resultados aparecen en la **Tabla 2**.

Tabla2

Campaña	h	Caudal Q m ³ /s	Campaña	h	Caudal Q m ³ /s
1	0,69	0,304	10	0,64	0,4652
2	0,63	0,2686	11	0,5	0,2556
3	0,72	0,4209	12	0,60	0,3576
4	0,72	0,4792	13	1,57	2,5911
5	0,71	0,4167	14	0,84	0,6970
6	1,48	2,1801	15	0,94	0,7935
7	0,62	0,3289	16	0,93	0,6081
8	0,97	1,2218	17	0,76	0,3211
9	0,71	0,6183	18	0,67	0,2324

La **figura 2 muestra el** análisis de dichos resultados a los que fueron incorporados los de las siete campañas del primer período.

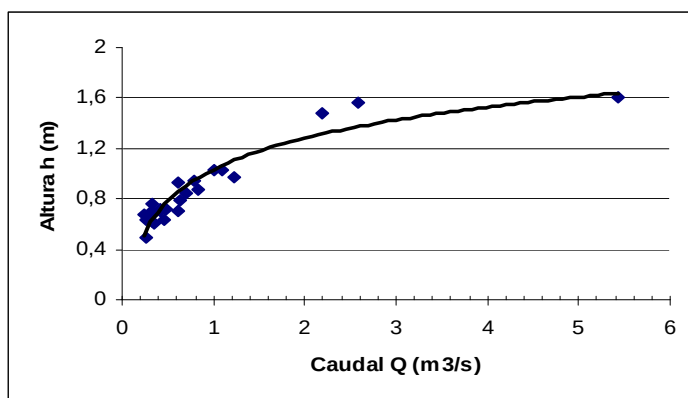


Fig 2.- Relación nivel-caudal a lo largo de las 25 campañas

La curva ajustada logarítmicamente permite establecer la ecuación (2). La fórmula establecida se indica a continuación:

$$h = 0.3569 \ln (Q) + 1.0342 \quad R^2 = 0,90 \quad (2)$$

En este período los mayores caudales se presentaron entre los meses de junio y noviembre registrándose los valores más altos en el mes de junio de 2012. Los niveles más bajos ocurrieron entre los meses de diciembre a mayo, registrándose los caudales mínimos en el mes de mayo de 2011. Los valores más resaltantes de dichos registros se indican en el cuadro 3:

Cuadro 3

ESTACION	h Promedio General	h Máximo Absoluto (*)	h Mínimo Absoluto (*)
ARROYO YHU	0,83 m	2,15 m (07-07-12)	0,60 m (22-05-11)

(*) Se consideró el primer valor histórico registrado

En relación a los aforos, los máximos y mínimos valores corresponden a los registros establecidos por las mediciones directas con el instrumental. Estos caudales máximos, mínimos y en promedio se presentan en el cuadro 4:

Cuadro 4

Estación	Q Promedio estim. m3/s	Q Máximo Registr. M3/seg	Q Mínimo Registr. M3/seg
ARROYO YHU	0,5643	2,5911 (27-04-12)	0,2324 (24-09-12)

El régimen hidrométrico que exhibe el arroyo es de tipo irregular/eventual, es decir las crecidas y bajadas de las aguas presentan alteraciones bruscas en el tiempo. Esto se debe a la reducida sección que tiene el río y que ante la presencia de una importante precipitación pluvial permite incrementar rápidamente los volúmenes, elevando considerablemente los niveles del agua.

3.2. Arroyo Piray

Este es un curso de caudal pequeño muy irregular debido, como en el Jhu, a su reducida sección que ante la ocurrencia de una importante precipitación pluvial permite incrementar rápidamente los volúmenes, elevando considerablemente los niveles del agua. Discurre en terrenos bajos entre lomadas y su curso es de unos 25Km; de aguas turbias y alto índice de color un poco menor que el Jhu.

Los datos limnimétricos indican que entre los meses de octubre de 1998 y julio de 1999 se presentaron los caudales más altos, manteniendo niveles altos en todo ese período. Los niveles más bajos se han producido entre los meses de septiembre a diciembre de 1999. Los valores más resaltantes de dichos registros se indican en cuadro 5:

Cuadro 5

Estación	h Promedio General	h Máximo Absoluto (*)	h Mínimo Absoluto (*)
P-1	0.88 m	3.44 m (20-JUN-99)	0.20 m (13-DIC-99)
P-2	0.79 m	1.98 m (21-JUN-99)	0.01 m (05-MAR-99)

(*) Se consideró el primer valor histórico registrado

En relación a las campañas de aforos de caudales realizados, los máximos y mínimos valores corresponden evidentemente a las establecidas por las lecturas limnimétricas. Estos caudales máximos, mínimos y en promedio se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 6

Estacion	Q Promedio Estim. M3/seg	Q Máximo Registrado m3/seg	Q Mínimo Registrado M3/seg
P-1	1.9682	8.8662 (18-ABR-99)	0.2686 (16-OCT-99)
P-2	2.0722	10.5725 (17-ABR-99)	0.2730 (16-OCT-99)

Con respecto a la relación nivel caudal obtenido a partir de los registros limnimétricos y de caudales determinados, las curvas ajustadas logarítmicamente alcanzan un alto grado de correlación lo cual acredita el buen nivel de confianza. Las fórmulas establecidas se indican a continuación:

$$\text{Para P-1} \quad h = 0.3407 \ln (Q) + 0.6492 \quad R^2 = 0,93 \quad (3)$$

$$\text{Para P-2} \quad h = 0.3498 \ln (Q) + 0.5339 \quad R^2 = 0,86 \quad (4)$$

3.3. Arroyo Yetyty

En este arroyo de caudal pequeño, de aguas relativamente menos turbias ($8,3 \pm 2,8$ NTU) se instaló la estación de mediciones en el sitio mencionado más arriba. La longitud de su curso es de ~ 31 Km; nace con rumbo norte próximo a la divisoria de aguas donde nace el Jhu.

A diferencia del Jhu y del Piray, el régimen hidrométrico que presenta el arroyo es de tipo regular, es decir las crecidas y bajadas de las aguas no presentan alteraciones bruscas en el tiempo. En este caso el arroyo se encuentra en una zona de esteros y mantiene un nivel uniforme en casi todas las épocas del año. Se deduce que el arroyo tiene vinculación directa con la napa freática de la zona y que a eso se debe que no se registre crecidas ni bajadas muy sensibles en el nivel de las aguas.

Al igual que el Piray y el Jhu entre los meses de septiembre de 1998 y febrero de 1999 se presentaron los caudales ligeramente más altos. Los niveles, también ligeramente más bajos se han producido entre los meses de septiembre a diciembre de 1999. Los valores más resaltantes de dichos registros se indican en el siguiente cuadro:

Cuadro 7

Estacion	h Promedio General	h Máximo Absoluto (*)	h Mínimo Absoluto (*)
Y-1	0,97 m	1,40 m (08-FEB-99)	0,78 m (24-NOV-99)

(*) Se consideró el primer valor histórico registrado

En relación a las campañas de aforos de caudales realizados, los máximos y mínimos valores corresponden evidentemente a las establecidas por las lecturas limnimétricas. Estos caudales máximos, mínimos y en promedio se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 8

Estación	Q Promedio Estim. M3/seg	Q Máximo Registrado m3/seg	Q Mínimo Registrado M3/seg
Y-1	3,8810	6,7830 (27-OCT-98)	2,1128 (16-OCT-99)

Con respecto a la relación nivel caudal, la curva ajustada logarítmicamente alcanza un alto nivel de correlación lo cual acredita el buen nivel de confianza. La fórmula establecida se indica a continuación:

$$\text{Para Y-1} \quad h = 0,1992 \ln(Q) + 0,6958 \quad R^2 = 0,8991 (5)$$

4. Estudios sedimentológicos

En el Arroyo Jhu fueron realizados estudios de caudal sólido, esto es, transporte de sólidos disueltos y en suspensión por el curso de agua. Ello tiene mucho que ver [8] con el aspecto del cuerpo de agua, del entorno edáfico, del caudal etc. Sus aguas son oscuras, *hu* en Guaraní * o *jhu* en la antigua grafía.

Debe mencionarse que en su tramo superior el río discurre en terrenos sedimentarios correspondientes a la Formación San Miguel.-Tacuary Bajo precipitaciones, por escorrentía se incorporan al río materiales detríticos, sedimentos etc habida cuenta de la alta erodibilidad de los suelos..

Suelos

Este arroyo comprende una cuenca exorreica de superficie aproximada de 9 a 10.000ha, longitud total de canal de escurrimiento de aguas, aproximada de 21 km. Se escurre entre las cotas 270 y 245 m áreas de las nacientes y 128m en lugar de aforo. Dirección del curso de norte a sur, es un afluente del arroyo Tapiracuai; discurre en los humedales (zona de Friesland) al norte de los esteros del Tapiracuai. En varios puntos de su recorrido recibe aguas del humedal (Jhu Rugua), que lo bordea al este, mediante canaletas aparentemente de origen antrópico. Los suelos dominantes de la microcuenca son:

- a) Arenic Rhodic Kandiudult, francosa gruesa de lomada de arenisca, suavemente ondulada, color rojo permeabilidad alta, capacidad buena de almacenar agua de lluvia, fertilidad moderada, bajo contenido de materia orgánica, alta erodibilidad. Ocupa en 55% del área de la parte superior de la microcuenca.
- b) Rhodic Paleudalf asociado a Mollic Paleudalf, francosa gruesa, derivado de arenisca, suavemente ondulado, color rojo, permeabilidad alta, capacidad buena de almacenaje de agua de lluvia, alta erodibilidad. Ocupa el 30% del área de la parte superior de la microcuenca.

Aspecto/Color

El aspecto de las aguas depende de la absorción de luz por las sustancias disueltas y coloidales y de la dispersión por material en suspensión [9]. Se ha planteado para aguas quietas una clasificación en: coloreadas (stained), turbias, y claras, con índices altos de –

*Las toponimias conservan la grafía antigua del Guaraní; la forma castiza sería Yhu.

color y baja turbidez las primeras, turbidez alta y bajo color las segundas y bajos color y turbidez las terceras [10]. En el caso del Jhu los índices de color son altos ($X^- \sim 77$ Pt) así como la turbidez ($X^- \sim 37$ NTU). Cuando ocurren precipitaciones medianas a fuertes, se han medido índices de color de ~ 150 Pt: incorporación de material de la cuenca y arrastre por escorrentía; también se llegó a medir ~ 90 NTU de turbidez, congruente con la erodibilidad de los suelos. El Piray a pesar de tener mayor turbidez e índice de color igual al Jhu tiene aguas menos oscuras a la vista que este último.

Transporte de sólidos.

Durante las campañas de aforo directo, también fueron colectadas muestras de agua para estudio de transporte de sólidos (caudal sólido), siguiendo los mismos patrones. Las determinaciones fueron realizadas por gravimetría. La **Tabla 5** exhibe los resultados obtenidos por campaña.

Tabla 5

Campaña	Caudal Sólido (g/s)	Campaña	Caudal Sólido (g/s)
1	47,92	10	33,98
2	28,9	11	19,28
3	42,65	12	24,5
4	49,2	13	352,4
5	104,17	14	71,79
6	196,2	15	62,687
7	36,18	16	43,8
8	106,29	17	35,1
9	70,78	18	16,04

Estos caudales sólidos (Q_s) registrados son dependientes de los caudales líquidos (Q_l) como se observa en la **fig 3**.

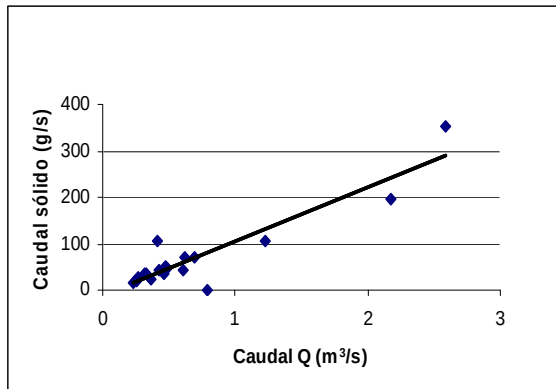


Fig 3. Relación caudal sólido vs caudal líquido

Esta relación es lineal con fuerte correlación; la ecuación resultante es:

$$Q_s = 116,4 Q_l + 11,321 \quad R^2 = 0,844 \quad (3)$$

La alta erodibilidad de los suelos contribuye fuertemente a la turbidez, que no es baja.

5. Conclusión

Se trata de cuerpos de agua superficial de bajo caudal. De ellos tanto el Jhu como el Piray son del tipo irregular/eventual muy sensibles a las precipitaciones pluviales, sujetos a cambios bruscos de nivel y que desbordan llegado el caso. El Jhu en su trayectoria incorpora abundante material detrítico y en suspensión que le confieren altos índices de color y turbidez; le sigue el Piray aunque en grado menor. El Yetyty es de tipo regular y se estima la existencia de buena comunicación con las napas freáticas. En el Jhu el caudal sólido presenta fuerte correlación con el caudal líquido conforme a la erodibilidad del entorno edáfico. Las fórmulas nivel h –caudal q establecidas son confiables y pueden ser de utilidad en la planificación/empleo en los *usos del agua*.

Referencias

- [1] Cáceres F, Parra V. Facetti Masulli J F. (2015)- Estudios Hidrológicos en el Río Carapá . Rev. Soc. Cient. Paraguay. 20, 181-188.
- [2] Balance Hídrico Superficial del Paraguay – (1992).Dirección de Meteorología e Hidrología – Oficina Regional de UNESCO para America Latina y el Caribe .

[3] **Mapa Hidrogeológico de America del Sur** y Texto explicativo- UNESCO- Programa Hidrológico Internacional – (1996).

[4] **Mapa Hidrogeológico** — (1986). Proyecto PAR/83/005. Gobierno de la República del Paraguay- Organización de las NN.UU .

[5] **Cartas Geográficas**. Hoja SG 21-5. Asunción Ed. 2- (1993)Dirección del Servicio Geográfico Militar.

[6] **J.F.Facetti-Masulli, F.Cáceres-Dueñas et al.**-Una secuencia de estudios hidrométricos y sedimentológicos en los ríos Tebicuary, Aguaray (guazu y mi), Pirati'y, lagos Ypacarai, Itaipú,, República, de la Región Oriental, ríos Confuso, He'ẽ, Negro, Montelindo, Verde etc de la Occidental fueron publicados en diferentes volúmenes en esta Revista de la Soc Cient del Paraguay, en J..Earth Scie. & Environ., en J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry etc.

[7] **Linsley RK, Köhler MA, Paulus JL.** (1975).,Hidrología para Ingenieros.89-114.Trd Castell.- McGraw Hill .

[8] **Kirk John .** (1986).- Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge Univ Press.

[9] **J Facetti Masulli et al.** (2015). The Secchi Disc and *Lago de la República*, Eastern Paraguay. J. Earth Science & Envir. 5, 482-486.

[10] **Koenings J. P. and Edmundson J. A.** (1991) Secchi disk and photometer estimates of light regimes in Alaskan lakes: Effects of yellow color and turbidity. Limnol. Oceanogr.. 36, 91-105 .