

Implementación del modelo hidrológico de grandes cuencas mgb-iph en la Cuenca del Río Acaray

Implementation of the hydrological model of large basins mgb-iph in the Basin of the Acaray River

Ana Lugo Idoyaga¹; Manuel Mazó Cáceres¹ & Julián Báez¹

¹Centro de Tecnología Apropiada, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”- Asunción –Paraguay

alugoidoyaga@gmail.com

Recibido: 10/05/2016

Aceptado: 08/11/2016

Resumen: Este trabajo presenta la implementación del modelo hidrológico de grandes cuencas MGB-IPH, desarrollado en el Instituto de Pesquisas Hidraulicas de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul. La cuenca elegida es la del río Acaray, una cuenca con gran influencia antropica, con la presencia de dos presas que dificultan el estudio hidrológico de la misma. El periodo de simulación se determinó entre los años 1970 y 1976, de manera a que la presa Yguazu no afecte el caudal medido en la estación Confluencia, la cual fue utilizada para la calibración. Además, se realizó el control de calidad de datos ANDESQC para las estaciones afectadas en dicho periodo, constatándose numerosos errores en los registros disponibles.

Palabras clave: Simulación hidrológica, Modelo MGB-IPH, Cuenca del Acaray.

Abstract: This paper presents the implementation of the hydrological model for large basins MGB – IPH, developed in the Instituto de Pesquisas Hidraulicas at the Universidade Federal do Rio Grande do Sul. The chosed basin is that of the Acaray River, a basin with high anthropogenic impact, with the presence of two Dams that difficult the hydrological study. The simulation period was made between 1970 and 1976, so that the Yguazu Dam out put does not affect the measured flow at the Confluencia station, which was used for calibration. In addition, the data quality control ANDESQC was performed for the stations affected during this period, confirming numerous errors in the available records.

Key words: Hydrological Simulation, Model MGB-IPH, Acaray Basin.

1. Introducción

El Paraguay es un país rico en agua dulce, posee los recursos hídricos necesarios para satisfacer la demanda en sus múltiples usos. Siendo que el agua es un elemento

imprescindible para el ecosistema en el que se desarrolla el ser humano y además de su limitación como recurso natural, se requiere de estudios con relación a ella.

La realización de estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas surge de la necesidad de comprender el comportamiento hidrológico, es una herramienta desarrollada para la evaluación de los procesos hidrológicos en diferentes escalas espaciales y temporales.

Para la simulación del comportamiento de una cuenca hidrográfica, los modelos utilizan una serie de ecuaciones con datos de entrada diversos, como el tipo de uso de suelo de la región estudiada, precipitación a lo largo del tiempo y otras variables climáticas. Como resultado, son generadas informaciones hidrológicas a lo largo de varios puntos de la cuenca hidrográfica, como el caudal de ríos y balance de agua en el suelo.

El Modelo Hidrológico de Grandes Cuencas (MGB, por sus siglas en portugués), fue desarrollado para simular el proceso de transformación de lluvia en caudal en grandes cuencas hidrográficas [1].

Se entiende por grandes cuencas, aquellas con área superior a los 10 mil km² y que tienden a presentar un mosaico de diferentes usos y prácticas, con heterogeneidad en la geología, topografía y en el suelo [2].

El trabajo tiene por objetivo la instrumentación del Modelo distribuido MGB-IPH en la Cuenca del Río Acaray mediante la obtención y análisis de datos de entrada para la aplicación del modelo así como la simulación y calibración del modelo hidrológico

Área de estudio

La zona de estudio es la Cuenca del Río Acaray (figura 1) tiene una superficie de 10.025 km². El cauce principal tiene 160 kilómetros de longitud. La cuenca se encuentra en la región Oriental del Paraguay, comprendiendo los Departamentos de San Pedro, Alto Paraná, Caaguazú y Canindeyú

La cuenca del río Acaray pertenece a la cuenca del río Paraná. Sus principales afluentes son los ríos Yguazú y Monday-mi. [3]

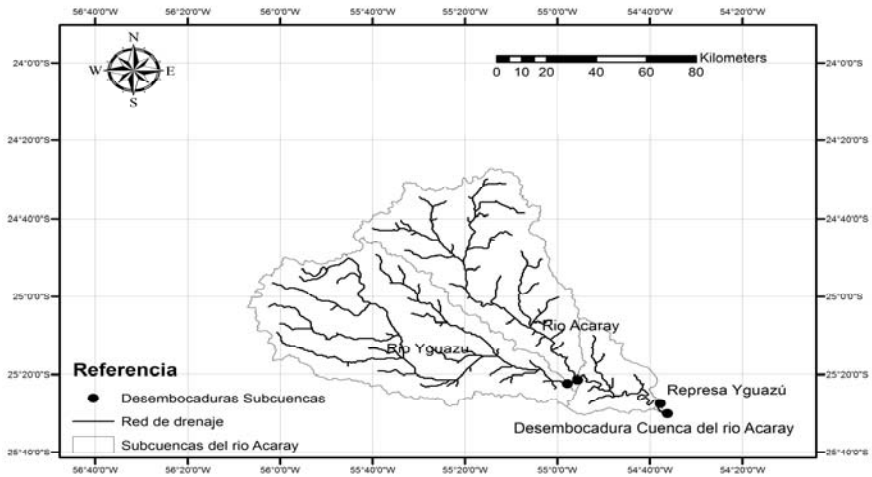


Figura 1. Mapa Ubicación física de la Cuenca del Río Acaray (Fuente: Elaboración Propia)

2. METODOLOGÍA

2.1. Obtención de datos de entrada al modelo Datos Hidrometeorológicos

Los datos hidrológicos y meteorológicos fueron obtenidos de mediciones realizadas por estaciones de monitoreo ubicadas dentro de la cuenca y próximas a ella, pertenecientes a la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil, Administración Nacional de Electricidad , Itaipu Binacional (Tablas 1,2,3).

Tabla 1. Estaciones de la Dirección Nacional de Aeronautica Civil (DINAC)					
Nombre	Lat.	Lon.	Tipo	Período	Código
Ciudad del Este	-25.4	-54.82	Meteorológica	01/04/1965 a 31/03/2007	86248
Aeropuerto Internacional Guarani, Mínga Guazú	-25.45	-54.84	Meteorológica	01/08/1997 a 18/03/2015	86246

A. Lugo Idoyaga- M.Mazó C. & J. Báez

Tabla 2. Estaciones de Institución Administración Nacional De Electricidad (ANDE)							
ID	Nombre	Lat.	Lon.	Tipo	Período	Código	Frecuencia
1	Itakyry	-24.99	-55.07	Meteorológica	19/07/1970 a 31/12/2014	1	Diaria
2	Central Acaray	-25.46	-54.63	Meteorológica/ Hidrométrica	01/01/1965 a 30/11/1998 01/02/2002 a 31/07/2008	2	Mensual/Diaria/ Horaria
3	Bella Vista	-24.81	-55.62	Pluviométrica	25/08/1975 a 31/12/2014	3	Diaria
4	Campo 2	-25.41	-55.6	Pluviométrica	20/10/1981 a 31/12/2014	4	Diaria
5	Confluencia	-25.35	-54.94	Meteorológica/Hi drométrica	28/8/1968 a 31/08/2014	5	Mensual/Diaria/H oraria
6	Presa Yguazú	-25.37	-54.97	Meteorológica/Hi drométrica	01/7/1974 a 31/12/2014	6	Mensual/Diaria/H oraria
7	Ponderosa	-25.29	-55.03	Pluviométrica	01/5/1974 a 31/07/2014	7	Diaria
8	Santa Ana	-25.04	-55.37	Pluviométrica	10/9/1975 a 31/07/2014	8	Diaria
9	Juan E. O'leary	-25.42	-55.37	Pluviométrica	01/5/1974 a 31/07/2014	9	Diaria
10	San Joaquin	-25.02	-56.05	Pluviométrica	01/4/1973 a 31/01/2006	10	Diaria
11	Curuguaty	-24.47	-55.7	Pluviométrica	0/3/1973 a 30/05/2003	11	Diaria
12	Carayao	-25.06	-56.28	Pluviométrica	01/1/2004 a 31/01/2006	12	Diaria
13	Pastoreo	-25.41	-55.82	Pluviométrica	18/5/1974 a 31/07/2014	13	Diaria
14	Taroby	-25.6	-55.39	Pluviométrica	01/01/1976 a 31/31/2014	14	Diaria
15	Cangara	-25.59	-55.886	Pluviométrica	13/10/1975 a 31/12/2014	15	Diaria
16	Puesto Silva	-25.57	-54.68	Meteorológica	01/10/1975 a 31/12/2014	16	Diaria

Tabla 3. Estaciones Meteorológicas de Itaipu Binacional

ID	Nombre	Lat	Lon	Tipo	Periodo	Código	Frecuencia
1	Fortuna	-25.2	-54.92	Pluviométrica	01/01/2002 a 31/12/2013	2554041	Horaria
2	Acuicultura	-25.44	-54.63	Pluviométrica	01/01/1979 a 31/08/2013	2554040	Diaria
3	Juan M. Frutos	-25.39	-55.83	Meteorológica	01/01/2006 a 31/12/2013	2555001	Horaria
4	Usina Itaipu	-24.68	-55.04	Pluviométrica	01/01/2002 a 28/02/2014	2554038	Diaria
5	MOPC	-24.44	-55.36	Meteorológica	01/01/2006 a 31/08/2013	2455002	Horaria
6	Camp. Central	-24.96	-54.96	Pluviométrica	01/01/1975 a 30/09/2013	2454032	Diaria
7	Itabó	-25.07	-54.72	Pluviométrica	01/01/2002 a 31/08/2013	2554037	Horaria
8	Itakyry	-24.98	-55.12	Pluviométrica	01/07/1979 a 31/12/2013	2455001	Diaria/Horaria
9	Ibel	-24.38	-54.61	Pluviométrica	01/01/2002 a 31/12/2013	2454039	Diaria
10	Laurel	-24.6	-54.47	Pluviométrica	01/01/2002 a 31/12/2013	2454037	Diaria

2.2. Obtención de datos de entrada al modelo-Datos geográficos

Los datos necesarios para la generación de mapas de tipo y uso de suelo mediante geoprocésamiento fueron:

- Modelo Digital de Elevación (MDE), disponible por el "Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI)" por medio del Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) de la National Geospatial Intelligence Agency (NASA) [4]
- Imágenes de satélite LANDSAT 4-5 TM [5] para la creación de mapas de elaboración propia de uso de suelo, con imágenes del año 1986.
- Mapa de tipo de suelo de la región oriental generados en el Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra-[6]

2.3. Adecuación de datos de entrada Hidro-Meteorológicos al formato del modelo

Se utilizaron las variables de precipitación, temperatura del aire (media, máxima y mínima), velocidad del viento, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar, temperatura del suelo, temperatura del agua (media, máxima y mínima), evaporación y caudal observado, todas en formato de medición diaria.

2.4. Control de calidad de datos

Control de incoherencia entre medición y observación. A causa de que la cantidad de lluvia caída se encontraba desfasada con relación a la observación de ocurrencia o no de lluvia, se realizó un control de coherencia de datos de precipitación, a través de la visualización de las planillas de los registros pluviométricos diarios, para el periodo total disponible.

Control de datos hidrométricos: Debido a que las mediciones de la estaciones de Central Acaray y la Presa Yguazú están influenciadas por el régimen de operación de ambos embalses, lo que modifica el comportamiento hidrológico natural de la cuenca, éstas fueron descartadas.

Consecuentemente, se analizaron las estaciones Alto Acaray y Confluencia, pero a causa de la inexistencia de ecuación de caudal en la primera estación, se impide su utilización para la simulación.

De esta forma quedó disponible solamente la estación Confluencia, la cual a lo largo del periodo de medición se ubicó en dos localidades diferentes dentro de la Cuenca de estudio. De acuerdo a las planillas de datos hidrométricos, fueron identificados los periodos de medición, para los cuales desde 1968 a 1997 se encontraba aguas arriba de la confluencia entre el río Acaray y el río Yguazú. Posteriormente, fue trasladada aguas abajo de la confluencia desde dicho año hasta la actualidad.

Control de Calidad de datos meteorológicos

De modo a disminuir los errores durante el proceso de observación y recolección de las series, que se producen inevitablemente de distinta naturaleza, se realizó el control de calidad ANDESQC programado sobre R, a partir de RClindex-extraqc para el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño (CIIFEN) [7].

El control de calidad consiste en la implementación de diferentes tests para identificar errores o valores sospechosos en las series temporales de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima. A continuación (Tabla 4) se pueden ver los distintos tipos de test realizados para cada variable.

Tabla 4 Test de Calidad

Test	Fecha	Precipitación	Temp. Max.	Temp. Min.	DTR
Outliers por meses		x	x	x	x
Outliers pentadales			x	x	
Outliers gamma		x			
Outliers espaciales		x	x	x	
Tmax<Tmin			x	x	
Valores fuera de rango		x	x	x	
Valores duplicados	x	!	!	!	!
Diferencias Interdiarias			x	x	
Valores consecutivos		x	x	x	
Precipitación acumulada		x			
Cadenas de Markov		x	x	x	
Cadena de precipitación		x			
Redondeo		x	x	x	

Fue realizado dicho control de calidad atendiendo a que el modelo es del tipo lluvia-caudal, en donde la lluvia es la variable de mayor importancia.

2.4. Selección de periodo de estudio

Para la selección del periodo de estudio, se tuvieron como condicionantes:

- la influencia de los embalse Yguzú en el año 1976 en las estación hidrométrica confluencia, que se encuentra aguas abajo de la misma. De manera que, el régimen hidrológico natural del curso se viera afectado por el régimen de la represa
- disponibilidad temporal de datos,
- calidad de datos.

2.5. Generación de base de datos SIG

Discretización

Mediante el geoprosesamiento del MDE, se obtuvieron los mapas de corrección de fallas del MDE bruto, red de drenaje, dirección de escorrentía, flujo acumulado, delimitación de la cuenca y discretización de la misma en unidades menores: subcuencas de acuerdo a estaciones hidrométricas y minicuenas (figura 2 y 3) de acuerdo a los trechos del río.

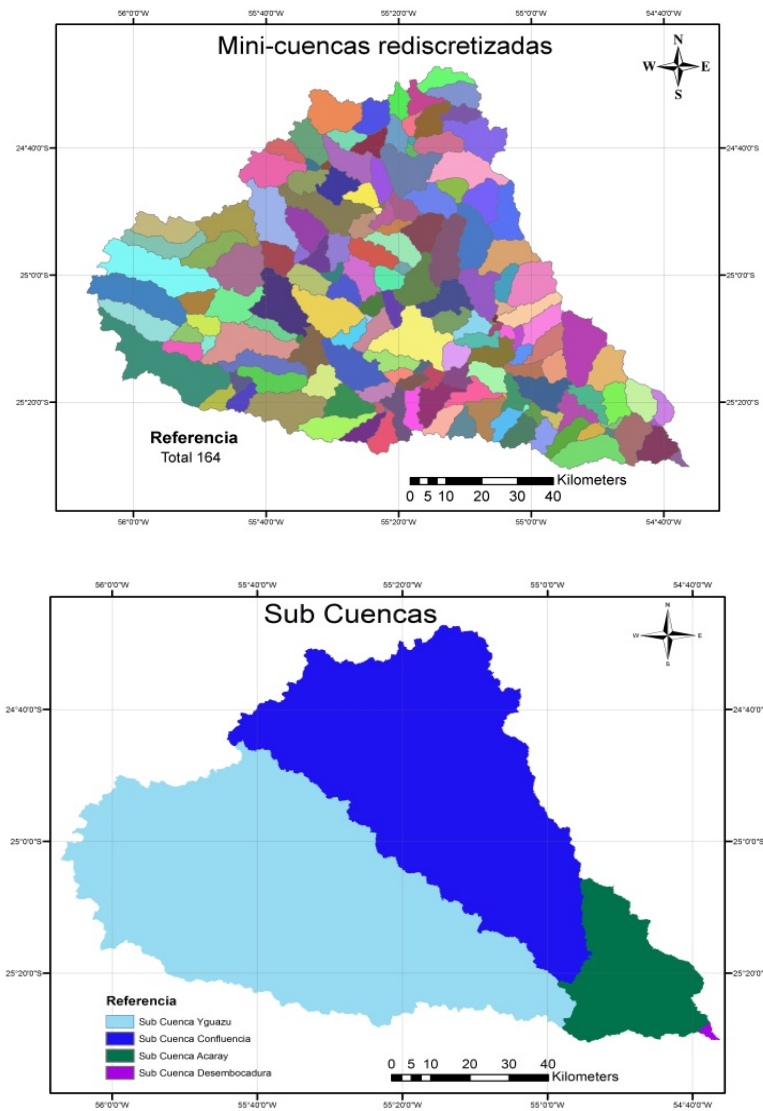


Figura 2-3. Minicuencas y subcuencas del Río Acaray. (Fuente: Elaboración propia)

Elaboración de mapas de Unidades de Respuesta Hidrológica.

Una Unidad de Respuesta Hidrológica (URH) es una combinación única de tipo de suelo y uso de la tierra, la cual mantiene sus condiciones hidrológicas sin importar dónde se encuentren dentro de la cuenca [8,9]

]

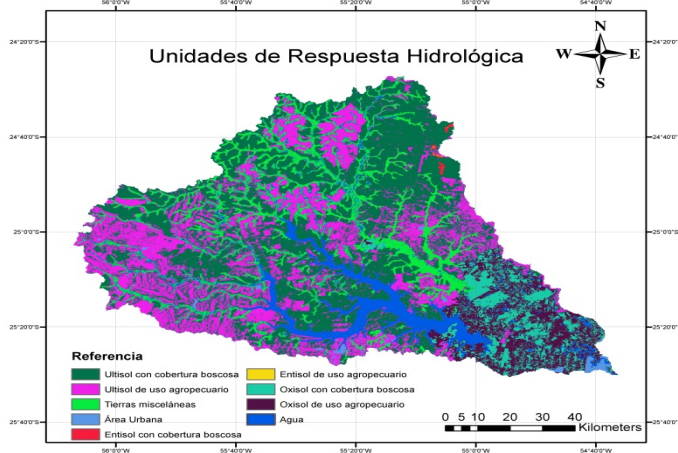


Figura 4. Unidades de respuesta hidrológica de la cuenca del río Acaray

Se elaboró (fig 4) mediante la combinación del mapa de tipo de suelo [6] y mapa de uso de la tierra de generación propia, mediante el procesamiento de imágenes LANDSAT 4-5 TM. [5]

2.6 Simulación

A partir de la recolección de datos de entrada al modelo, tanto los hidro-meteorológicos como los generados con geoprocésamiento, son recolectados y preprocesados para la realización de la simulación. Mediante la interfaz de MapWindows GIS con el plugin del MGB-IPH, donde se realizan la interpolación de datos de precipitación, las medias climáticas y los climas diarios.

Además, son definidos los valores de los parámetros fijos y calibrables para cada unidad de respuesta hidrológica de acuerdo al tipo de suelo y al uso dado, que permite la definición del comportamiento hidrológico.

A. Lugo Idoyaga- M.Mazó C. & J. Báez

La correlación entre caudales simulados y calculados pueden ser evaluado mediante los coeficientes Nash(R2) y coeficiente Nash para los logaritmos de caludales (R_{\log}), y la relación entre los volúmenes medidos y calculados (ΔV)

$$R_2 = 1 - \frac{\sum (Q_{\text{obs}}(t) - Q_{\text{cal}}(t))^2}{\sum (Q_{\text{obs}}(t) - \overline{Q_{\text{obs}}})^2}$$

$$R_{\log} = 1 - \frac{\sum (\ln(Q_{\text{obs}}(t)) - \ln(Q_{\text{cal}}(t)))^2}{\sum (\ln(Q_{\text{obs}}(t)) - \overline{\ln(Q_{\text{obs}}(t))})^2}$$

$$\Delta V = \frac{\sum (Q_{\text{cal}}(t)) - \sum (Q_{\text{obs}}(t))}{\sum (Q_{\text{obs}}(t))}$$

Donde $Q_{\text{obs}}(t)$ es el caudal observado en el tiempo t y Q_{cal} es el caudal calculado en el tiempo t

El coeficiente Nash (R2) tiene un valor máximo igual a 1, que corresponde a un ajuste perfecto entre caudales calculados y observados. Está fuertemente influenciado en los errores de los caudales máximo.

El valor del coeficiente Nash de logaritmos de caudales (R_{\log}) también tiene un valor máximo de 1, está fuertemente influenciado por los caudales mínimos.

El ΔV expresa la diferencia relativa entre la suma de todos los caudales, observados y calculados sin considerar su secuencia temporal.

2.7. Calibración

Fue realizado el método de calibración manual, que consiste en el ajuste de los parámetros calibrables y posterior visualización del hidrograma calculado en comparación al hidrograma observado. Este proceso es iterativo, hasta conseguir el ajuste óptimo entre ambos.

3. Resultados

Fue seleccionado como periodo de simulación entre enero del año 1970 y diciembre del año 1976, previo a la construcción de la presa Yguazú, de forma a que la acción de esta no afectase los caudales observados.

Con los resultados del control de calidad ANDESQC, se redujeron las estaciones meteorológicas de 5 a solo 2, las cuales fueron Confluencia y Ciudad del Este, las otras estaciones presentaron errores significativos, de tal forma que al utilizarlos en la simulación disminuía la correlación entre hidrogramas.

En cuanto a las estaciones pluviométricas, también presentaron errores y valores sospechosos, pero no fueron descartadas teniendo en cuenta que la precipitación es la variable principal para la generación del caudal, y al disminuir la cantidad de datos, se presentaban resultados desfavorables.

Se contaron con 16 estaciones pluviométricas, 2 estaciones meteorológicas y 1 estación hidrométrica para ese periodo, determinando una densidad de 1 estación pluviométrica cada 626 km², 1 estación climatológica cada 5012 km² y una estación hidrométrica para toda el área de la cuenca. La recomendación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en cuanto a la densidad de puestos de monitoreo es de 250 km², por lo cual, la densidad disponible resulta muy baja.

Se ajustaron los parámetros para simular en una cuenca cubierta casi en su totalidad de bosques, considerando que el inicio de la deforestación se da a principios de 1980. Los resultados de la simulación se muestran en el hidrograma (figura 5) y la curva de permanencia de caudales (figura 6). Se obtuvo un coeficiente de correlación R² de 0,66, coeficiente de correlación logarítmica Rlog de 0,614

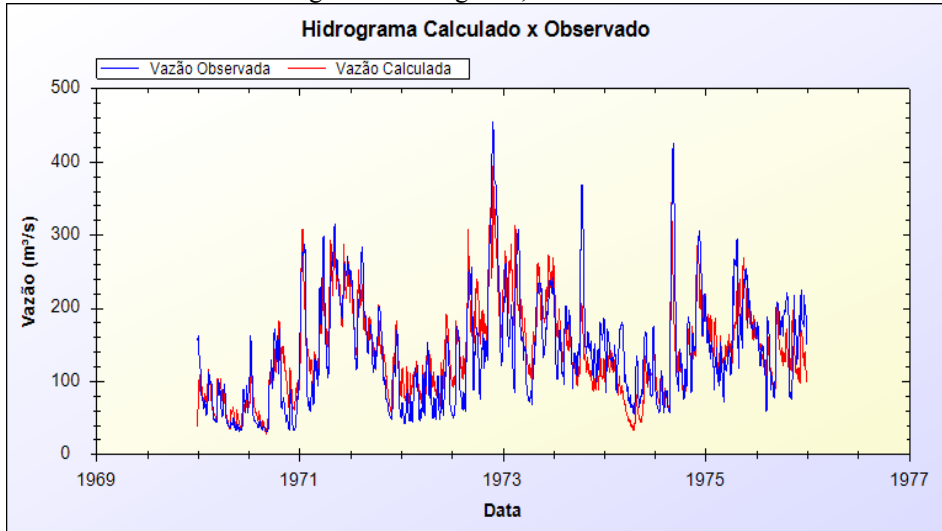


Figura 5. Hidrogramas Calculados y Observados

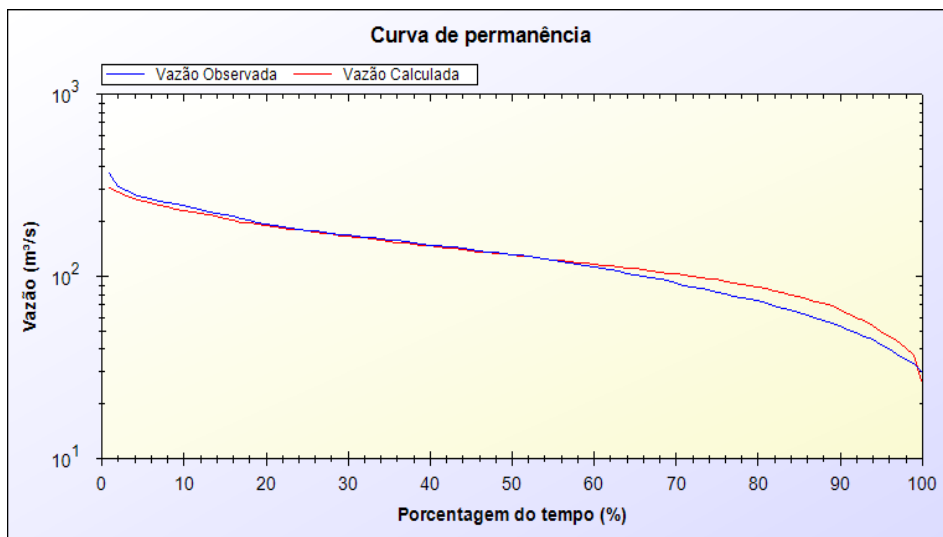


Figura 6. Curva de permanencia de caudales

4. Conclusiones

Mediante la simulación con el periodo completo de mediciones realizadas en la cuenca del rio Acaray se pudo constatar la variación significativa en los caudales observados en la estación Confluencia, desde el año 1978 año en el cual empezó el funcionamiento de la represa Yguazú;-los caudales no son naturales, alterando los hidrogramas observados en donde se pueden evidenciar los picos prolongados a causa de la aperturas de las compuertas en exceso de agua de la represa.

El periodo anterior a la construcción de la represa Yguazú presentó concordancia y acompañamiento entre los caudales calculados y observados, sin embargo, la cantidad de datos disponibles queda disminuida, en comparación a los periodos siguientes. Por lo tanto es de esperar una baja correlación entre caudales observados y calculados siendo que el modelo MGB-IPH es del tipo distribuido, que tiene como requisito la gran disponibilidad de datos pluviométricos..

Con el objetivo de disminuir los errores, se realizaron los test de control de calidad de datos ANDES-QC de precipitación, temperatura máxima y mínima, en donde fueron encontrados una gran cantidad fallas y valores sospechosos en las series históricas de dichas variables. No obstante, el dilema se encuentra entre la disminución de datos o

utilización de los mismos siendo que la serie original presentaba poca cantidad de datos, como ya se había mencionado para el período anterior a la construcción de la represa Yguazú.

Se consideran que los resultados han sido satisfactorios, considerando que los caudales calculados siguen la misma frecuencia que los caudales observados, se especifica que existe una mayor correlación entre los caudales máximos, a diferencia entre los caudales mínimos.

Para finalizar, se recomienda la realización de la ecuación H-Q para la altura observada de la estación Alto Acaray, siendo que ésta no cuenta con una. Siendo que debe de tener en cuenta que ambas estaciones poseen una cantidad importante de datos históricos que pueden ser estudiados, y podría ser otro sitio de calibración para la cuenca del río Acaray.

Igualmente, se recomienda el control de calidad de datos de todas las estaciones antes de utilizarlas en estudios hidro-meteorológicos. Así como también la disponibilidad de caudales naturalizados, que actualmente las lecturas de altura de la estación Confluencia son afectados por la operación de las represa Yguazú, para realizar las simulaciones en periodos posteriores.

Referencias bibliográficas

- 1 .Collischonn, W.; Tucci, C.E.M. "Simulação hidrológica de grandes bacias". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. (2001) 6(1), 95-118. [enlínea] Disponible en <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=42&SUMARIO=625>
- 2 Wilk, J.; Anderson L.; Plermkamon V."Hydrological Impact Of Forest conversion to agriculture in a large river in Northeast Thailand". *Hydrological processes*, (2001), 15, 2729-2748.
3. ElectroConsult do Brasil LTDA (ELC), Morrison-Knudsen Internacional de Engenharia S.A. (MKI).Estudos de los rios da regio do Alto Paraná. Rio de Janeiro.1977
- 4.Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) .SRTM 90m Digital Elevation Data. 2008. [enlínea] Disponible en <http://srtm.csi.cgiar.org/>
5. Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental del Paraguay. López O, González E, Alonso P. Proyecto Reconocimiento Uso de la Tierra Minis. Agric. Ganad. GTZ Asunción. 1995.
6. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey. LANDSAT 4-5 TM. 2016. [enlínea] Disponible en <http://earthexplorer.usgs.gov/>
7. Dr. Eric Aguilar. Control de Calidad con ANDES-QC Test Implementados. Centro Internacional para el fenómeno de El niño. [enlínea] Disponible en

http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=523%3Acontrol-de-calidad-de-datos-meteorologicos-qc&catid=127%3Acontrol-de-calidad-de-datos-meteorologicos-qc&Itemid=185&lang=es

8. Collischonn W , Allasia D , Benedicto C. Da Silva & Carlos E. M. Tucci. The MGB-IPH model for large-scale rainfall—runoff modelling, Hydrol. Scie. J.. (2007), 52 (5), 878-895, DOI: 10.1623/hysj.52.5.878

9. Collischonn, W.; Buarque, D. C.; Paiva, R. C. D.; Fan, F. M.; Kayser, R. H. B. “*Manuales del modelo MGB-IPH versión 2.0*”. [en línea] Porto Alegre.(2010) disponible <https://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/>