

## **Análisis hidrológico de la Cuenca del Río Monday mediante el uso del modelo hidrológico distribuido MGB – IPH**

### **Hydrological analysis of the Monday River Basin using the distributed hydrological model MGB - IPH**

*Teresita Godoy ; Cristian Escobar.*

(1) Facultad de Ciencias y Tecnología - Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción

[teresitamgodoy@gmail.com](mailto:teresitamgodoy@gmail.com)

**Recibido:** 22/09/2016

**Aceptado :** 25711/2016

**Resumen:** El presente trabajo evalúa la aplicabilidad y la utilidad del Modelo hidrológico distribuido Grandes Cuencas (MGB, por sus siglas en portugués,) para su utilización en la realización de balances hídricos y otros estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas del Paraguay. Se realizó un compilado de datos físicos y temporales de utilidad hidrológica con la calidad y cantidad disponibles en el País. Se seleccionó la cuenca del Río Monday por contar con datos de precipitación y de nivel de agua de más de 20 años de duración; se analizaron, se compararon y se escogieron aquellos con mayor confiabilidad y representatividad. Los datos físicos se obtuvieron a partir del procesamiento de imágenes de satélite, datos topográficos y mapas taxonómicos existentes. La cuenca fue subdividida en una cuenca alta y una cuenca baja, coincidente con reglas de medición de nivel de agua. El método utilizado para la calibración fue de prueba y error mediante el uso del coeficiente de eficiencia de Nash- Sutcliffe como parámetro de valoración del modelo. Se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,74 el cual se considera bueno teniendo en cuenta la escasez de datos, la complejidad del modelo y el alcance de la tesis. El MGB-IPH, resultó ser un modelo de alta complejidad en su aplicación y de muchas posibilidades para la simulación hidrológica, en especial con respecto a evaluaciones de cambios de uso y ocupación de suelo y escenarios de variabilidad y cambio climático. El mismo puede ser utilizado en cuencas con información de precipitación confiable, para la realización de Balances Hídricos, y de apoyo de toma decisiones para la Reglamentación de la Ley N° 3239 de los Recursos Hídricos, en especial lo que atañe a asignación de permisos y concesión de usos de agua.

**Palabras clave:** Modelo Hidrológico distribuido, MGB-IPH, Río Monday.

**Abstract:** The applicability of the Large Basins Model (MGB, for its acronym in Portuguese) for water balances and other hydrological studies in watersheds of Paraguay is evaluated. A compilation of hydro-meteorological and physical data available for the basin was performed. The Monday River basin was selected considering the availability of rainfall and water level data of over 20 years; Physical data was obtained by processing satellite images, topographic data and existing taxonomic maps. The basin was divided in two subbasins in order to coincide with existing water level sites. The model was calibrated using the Nash Sutcliffe parameter as a valuation of the model. A Nash coefficient of 0.39 was obtained for the upper basin, which is considered very low;

however, a value of 0.74 was obtained for the entire basin, which is considered good given the scarcity of data, the complexity of the model and the scope of the thesis. The MGB\_IPH has proved to be a very capable model with many potential applications for hydrologic simulation, especially with respect to assessments of changes in land use and occupation and scenarios of climate variability and change. It can be used in basins with reliable precipitation information, to perform water balance, and as a decisions support for the implementation of the Water Resources Law, especially in relation to allocation of permits and granting of water use.

**Keywords:** distributed hydrological model, MGB -IPH, Rio Monday.

## 1. Introducción

El progresivo desarrollo del hombre y su bienestar genera presión en los recursos naturales principalmente en los relacionados al agua. Cada vez son más necesarios los conceptos de ahorro cuidado del agua, de esta necesidad nace el concepto de Gestión Integral de los Recursos hídricos, definida por el Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (GWP, por sus siglas en inglés), como "un proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas" [1], es decir lograr el equilibrio entre el consumo {extracción de agua superficial o sub-superficial (para uso humano, industrial, agro-industrial, recreación y otros), deforestación, drenaje o desecación de humedales entre otros} y lo que el ecosistema necesita para brindar sus servicios y autosustentarse (navegación, absorción y eliminación de contaminantes, soporte de vida acuática entre otros), minimizando las afectaciones a la escorrentía superficial, la recarga irregular de aguas subterráneas, el micro-clima, la demanda de agua, la modificación de la red de drenaje y la capacidad de autodepurarse de los ecosistemas acuáticos.

Es importante destacar que el Paraguay se caracteriza por ser un país con abundancia de agua, cuenta con dos grandes Ríos caudalosos y una gran cantidad de Ríos interiores y arroyos. Ha pasado por un proceso de deforestación intensiva a partir de la década del 70, en un principio extracción de madera y agricultura campesina y luego para lo que hoy es en mayor parte agricultura intensiva de mono-cultivos. La disminución de bosques y su alta capacidad para captar agua de lluvia a través de la infiltración y la evapotranspiración, cambia la cantidad de lluvia absorbida y aumenta la cantidad de lluvia escurrida; en períodos de tormenta se observan picos mayores a los acostumbrados en los caudales, y en algunos casos hasta se puede comprometer el caudal base del Río.

Se ha señalado [2] que en nuestro país se considera al agua como un servicio y no como un recurso vulnerable y finito. En el año 2001 el gobierno en un esfuerzo por proteger este recurso crea el ERRSAN (Ente Regulador de Servicios Sanitarios) que reglamenta solamente el sector tarifario descuidando otros usos del mismo, entre ellos el agua para

consumo humano. Por lo tanto no existe aún la conciencia profunda del cuidado de éste y de su vulnerabilidad.

En Paraguay la Ley N° 3239 de Recursos Hídricos que regula la gestión sustentable e integral de todas las aguas y los territorios que la producen, define a la cuenca hidrográfica como la unidad básica de gestión y expresa la necesidad de contar con un Balance Hídrico para cada cuenca del país. Desde su promulgación hasta la fecha aún no se adoptaron metodologías ni herramientas para la conclusión de este objetivo. La estandarización de los procesos de obtención de balance hídrico es fundamental para evitar subjetividades en su realización y asegurar una correcta toma de decisiones para la gestión del agua.

En este trabajo se aborda la problemática de la escasez de instrumentos de gestión del agua que puedan ser aplicados a la realidad paraguaya. Se implementa el Modelo de Grandes Bacías (MGB, por sus siglas en portugués) en la cuenca del Río Monday. Se abordan los aspectos teóricos del MGB. Se realiza el análisis y procesamiento de datos físicos y temporales y la preparación de estos en el formato de entrada del Modelo. Se construye el modelo a partir de los datos obtenidos y se realiza la calibración de este a partir de 2 estaciones de medición de nivel existentes en la cuenca.

## **2. Materiales y métodos**

### **Marco Conceptual**

Los modelos distribuidos consideran que los procesos hidrológicos ocurren en varios puntos del espacio y las variables del modelo dependen de su dimensión espacial. La posibilidad de contar con estos modelos radica principalmente en los avances en las áreas de geoprocésamiento y sensoreamiento remoto e informaciones espacialmente distribuidas (imágenes de satélite, mapas de cobertura vegetal y tipos de suelos, modelos numéricos de terreno), y el aumento de la capacidad computacional [3]. Con estos modelos se pueden incluir eventos variables en el tiempo y en el espacio de modo a representar mejor el ciclo hidrológico. Se representa los procesos sobre una cuadrícula o celdas y permite efectuar predicciones detalladas para cada celda de la cuadrícula. Cada celda cuenta con parámetros que permiten llegar a estimaciones individuales del caudal. El caudal se puede calcular matemáticamente para cualquier punto en la cuadrícula.

### **Materiales**

A los efectos de este estudio, se considera como materiales a los mapas taxonómicos de suelo, datos de elevación digital del terreno, el software MGB-IPH, el software MAP WINDOWS GIS, datos de precipitación de las estaciones de la DINAC y ANDE, y datos meteorológicos (Temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, insolación y presión atmosférica)

## Mapas y bases de datos

### Datos Físicos

*Tipo de suelos.*: Se utilizó el mapa de taxonomía del suelo del PRUT (Proyecto de Racionalización de uso de la Tierra) [4]. La base relacionada al mapa de taxonomía (Soil Taxonomy, USDA), contiene datos de textura identificados en la etiqueta de cada tipo de suelo. En la Figura 1a se muestra el mapa de tipo de suelos reclasificado según la textura donde la Clase 1 corresponde a una permeabilidad media, la clase 2 como más permeable y clase 3 menos permeable.

*Uso de suelos:* Para la definición de los usos agrícolas y forestales se utilizaron imágenes satelitales históricas de Satélite Landsat 5, obtenidas a través de la Página Web de la USGS, con las bandas TM 3, 4 y 5, con una precisión de 30x30 metros mediante el uso de la herramienta multivariante de clasificación no supervisada. Se decidió realizar para el mismo año de los mapas de uso del suelo del PRUT [5], puesto que el mapa de ordenamiento territorial existente tiene ya delimitada las ciudades y ahorra un buen tiempo en su definición. En la Figura 1b se muestra el mapa de uso de suelo de la cuenca.

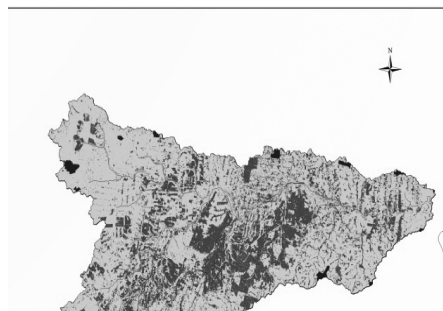
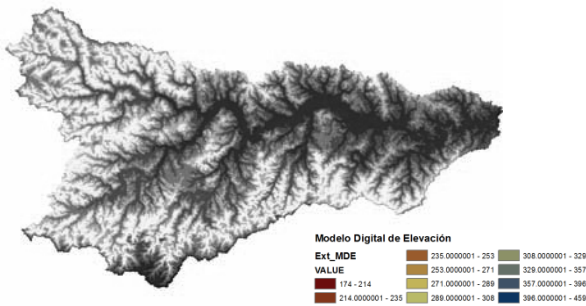


Figura 1a: Mapa de suelo reclasificado a partir de Cartografía del PRUT. Reclasificado de la Textura

1	os
2	
3	

Figura 1b: Mapa de Uso del suelo 1995 de la Cuenca del Río Monday

*Datos de terreno:* consiste en datos de elevación obtenido de imágenes satelitales del Radar de la NASA de Misión Topográfica (Shuttle radar Topography Mission, SRTM por sus siglas en inglés). Obtenido de forma gratuita por el USGS con una resolución de 90 x90 m.



**Fig. 2 Modelo digital de elevación de la Cuenca**

### Datos temporales

*Precipitaciones/ Temperatura:* Los datos diarios de precipitación fueron los de la Dirección de Aeronáutica Civil (DINAC) en Coronel Oviedo, Ciudad del Este y Aeropuerto Guaraní, y de la Administración Nacional de Electricidad en Oleary, Tarovy, Cangará, Santa Rosa Monday, Campo Dos, Pastoreo.. Se cuenta con registros de precipitación a partir del año 1975 al 2013, con algunos cortes en la medición en algunas estaciones.

*Altura/ caudal del Río Monday:* Se utilizaron los datos de nivel de agua del Río Monday en las estaciones de Caayobai y Nuevo Puesto Silva, cuyas coordenadas se encuentran descriptas en la tabla 2. Las estaciones Puesto Silva y Caayobai son administradas por la ANDE, y fueron instaladas en el marco del estudio ELC – MKI de 1977, en cual se realizaron mediciones de caudal para la determinación de las curvas HQ [6]. La estación Nuevo Puesto Silva que reemplaza a la estación Puesto Silva de la Ande fue instalada por la ITAIPU, a pocos metros de la Estación Puesto Silva, con la misma cota del cero por lo tanto se consideran de igual forma.

### Programas

Para la representación física y espacial del modelo se utiliza tecnología SIG. Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, por sus siglas en inglés) proporciona un marco para reunir, organizar, compartir y analizar información espacial. Todos los datos de un SIG están georreferenciados, es decir, conectados a una localización específica dentro de la superficie terrestre. Un SIG asigna cualidades y características a localizaciones geográficas. Como se expuso en el marco teórico el formato utilizado por el modelo es el raster, que resulta una ventaja con respecto al modelo vectorial, ya que su estructura se ajusta de manera muy parecida a la de las computadoras y están orientados al análisis espacial.

Fueron utilizados 2 softwares SIG: El ArcGis 9.3 disponible en la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, cuyas herramientas fueron utilizadas para la definición de mini cuencas y HRU y el MapWindow Gis que actúa como ejecutor de los plug-ins del modelo y en finalmente se describirá la herramienta DSS-Vue utilizada para el análisis de datos temporales.

## **Métodos**

El MGB- IPH es un modelo hidrológico distribuido desarrollado para su aplicación en grandes cuencas, especialmente aquellas en donde se tiene limitación de datos. El MGB caracteriza a la cuenca física, temporal y espacialmente y permite obtener valores de caudal fluvial en cualquier punto de esta. La representación espacial de la cuenca se realiza en el formato raster. Este formato divide el área de estudio en una matriz de celdas cuadradas. Cada celda recibe un único valor que se considera representativo para toda la superficie abarcada por la misma. Mediante la superposición de capas de información se le asigna a cada celda características físicas (pendiente, uso y tipo de suelo) e hidrológicas (dirección de flujo, área acumulada, longitud de trecho de río). Las características físicas de uso y tipo de suelo son agrupados en grupos de comportamiento hidrológico similar a los cuales se les denomina Unidades de repuesta hidrológica (URH o por sus siglas en inglés Hydrological Response Unit, HRU) [7]. Los procesos hidrológicos verticales son simulados a nivel de URH, asignándole a cada grupo parámetros que definen su comportamiento hidrológico. Luego de la simulación en cada URH se tiene disponibles 3 reservorios de agua correspondientes a los reservorios de escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo que son sumados a nivel de minicuenas dando como resultado el caudal de salida correspondiente a cada uno de éstos y propagados través de la red de drenaje por el método Muskingun Cunge [8] hasta la desembocadura de la cuenca. Las minicuenas son unidades en las que se divide la cuenca a partir de confluencias entre trechos de río, la lluvia es interpolada a través de estas unidades espaciales. El proceso de división de la cuenca en URH y en mini cuencas se realiza con herramientas SIG (Sistema de información geográfica). La tecnología SIG permite el análisis espacial y la superposición de datos espaciales.

Los parámetros que definen el comportamiento hidrológico de cada celda pueden ser fijos o calibrables. Los parámetros fijos, albedo, índice de área foliar, altura media de los árboles y resistencia superficial, guardan relación con el tipo cobertura vegetal y el uso de suelo e interfieren principalmente en el proceso de interceptación y evapotranspiración. Y los calibrables que dependen tanto del tipo de cobertura como del tipo de suelo y características del terreno de la cuenca e influyen en el balance de agua en el suelo, los escurrimientos superficiales, sub-superficial y subterráneo y la propagación en la red de drenaje.

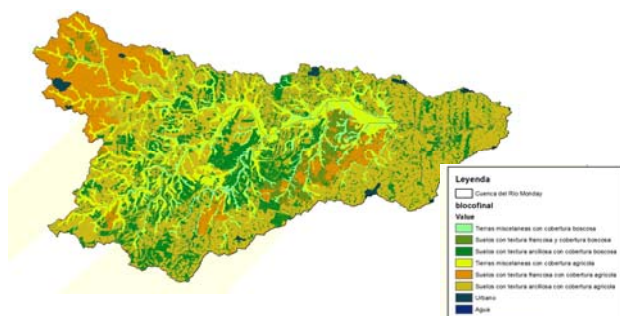
La forma en que se asocian los parámetros fijos y calibrables entre si se da en 4 módulos de los cuales está compuesto el modelo Collischonn [9].

Balance hídrico en la capa superior del suelo.

- Evapotranspiración
- Escurrimiento: superficial, subsuperficial y subterráneo en la célula.
- Propagación en la red de drenaje.

### 1.1 Definición de Unidades de Respuesta Hidrológica (URH)

Se realiza la superposición del tipo y del uso de suelo para la definición del URH. El método de superposición es por suma de atributos. Se integran las clases de tipo de suelo y uso de suelo, reclasificándolas de modo a que no queden más de 12 URH, clasificando las áreas urbanas, y al agua con un único URH y despreciando aquellas de poco porcentaje de ocupación en el área.



**Figura 3 Mapa de URH de la cuenca del Río Monday.**

Se cuenta con ocho tipos de URH: Tierras misceláneas con cobertura boscosa (1). Suelos con textura francosa y cobertura boscosa (2). Suelos con textura arcillosa con cobertura boscosa (3). Tierras misceláneas con cobertura agrícola (4). Suelos con textura francosa y cobertura agrícola (5). Suelos con textura arcillosa con cobertura agrícola (6). Urbano (7). Agua (8).

### Estimación de Parámetros fijos

Se definen los valores de los parámetros fijos de la cuenca en estudio, mensualmente y en cada URH. Estos parámetros están directamente relacionados con el uso de suelo y la cobertura vegetal de la Cuenca. Los parámetros fijos son el albedo, el índice de área foliar. El primero de ellos, que definimos en el Marco Teórico es el Albedo, que es la parcela de radiación solar que es reflejada por la superficie de suelo.

Para el índice de área foliar se tomó en cuenta los valores de referencia del MGB y para el caso particular de áreas de cultivo, el bloco 4 se asume como pastura y los blocos 5 y 6 se tomaron los valores de referencia de la soja y su calendario de siembra. El valor adoptado de Índice de Área Foliar para meses de cosecha (diciembre, enero, febrero) es 6 y menor para meses de siembra (setiembre, octubre, noviembre).

Para definir la altura media de los árboles, se asumió una altura máxima de 10 m para los bosques que se encuentran en la riberia del Río Monday y de 20 para los bosques dentro de la cuenca. Para el bloco 4, tierras misceláneas, se tomó el mínimo valor por considerarlo pastura y para los blocos 5 y 6 la altura media de 1 metro. Para el bloco 7 y 8, urbano y agua, respectivamente se tomó el mínimo valor de 0.5.

Y Por último los valores de resistencia superficial se adoptaron teniendo en cuenta lo que el MGB propone, siendo máximos para los bosques y meses más húmedos y menores para agricultura, meses más secos y calurosos.

### **Parámetros calibrables.**

Se tienen dos grupos de parámetros calibrables: los que se ajustan para cada URH (Wm, b, Kbas, Kint, XL, CAP, WC) y los que se ajustan por subcuencas que tienen que ver principalmente con el tiempo de retardo y el tiempo de viaje. El almacenamiento de suelo (Wm) se consideró más alto para el caso de tierra con uso de suelo de tipo bosque, especialmente en los tipos arcillosos, puesto que estos tienen mayor capacidad de retención de agua. Se utilizó la relación de que el almacenamiento en suelos de cobertura boscosa es de 1,6 veces mayor que el cultivo. Con esta relación mejoró la representación del hidrograma.

Con respecto al parámetro **b** (relación entre almacenamiento y saturación) primero se tomó el mínimo valor sugerido. Resultó ser muy alto por dejar el hidrograma muy nervioso, por lo tanto, se adoptó el valor 0.1 para los suelos de cobertura boscosa por tener menor capacidad de generación de escorrentía y 0,5 para otros tipos de cobertura.

El parámetro de escurrimiento subterráneo Kbas se varió del 0.5 al 3, siendo el mínimo para suelos arcillosos y máximo para suelos saturados y arenosos. El parámetro de escurrimiento subsuperficial Kint, se adoptó el valor mínimo para las zonas saturadas y urbanas y el valor máximo para suelos arenosos. El coeficiente de Capilaridad se desprecia. Y el Wc se adoptó en un aprox de 1% del Wm.

Con respecto a los parámetros de propagación superficial y sub-superficial para la cuenca alta se llegó a un valor de CS 80 y para la cuenca baja CS de 100. El CI se tiene para la cuenca alta es de 200 y para la cuenca baja 300. El CB que mide en horas el retardo se tomó para la cuenca alta 10.000 horas y para la cuenca baja 5000 horas que equivale aproximadamente lo que el pico en la estación Caayobai tarda en llegar a la estación Puesto Silva. Y el QB se toma por defecto el recomendado por el MGB que tiene una sensibilidad muy baja. Estos valores fueron adoptados sin un estudio detallado del comportamiento del hidrograma y del tiempo de viaje, por razones operacionales y de alcance del trabajo.

### **3. Resultados**

La simulación se realizó para el período comprendido entre el año 1984 al 1990 teniendo en cuenta la continuidad de datos de caudal para ese período en las 2 estaciones de medición de nivel existentes. Se realizaron aproximadamente 50 simulaciones utilizando

como parámetro de valoración las funciones objetivo de Nash Sutcliffe [10] y también una inspección visual de los hidrogramas calculados y observados. Las funciones objetivo corresponden a los índices de desempeño. Los considerados son: Coeficiente de Nash Sutcliffe (NS), Coeficiente de Nash Sutcliffe para logaritmo (NS log) y la diferencia entre volúmenes calculados y observados mediante el Error en el volumen ( $\Delta V$ ). Collischonn [9] considera el desempeño del modelo adecuado y bueno si el valor de R2 supera 0,75 y es considerado aceptable si el valor de R2 se queda entre 0,36 y 0,75. Los hidrogramas obtenidos se muestran en las figuras 4 y 5, el caudal observado y el caudal calculado.

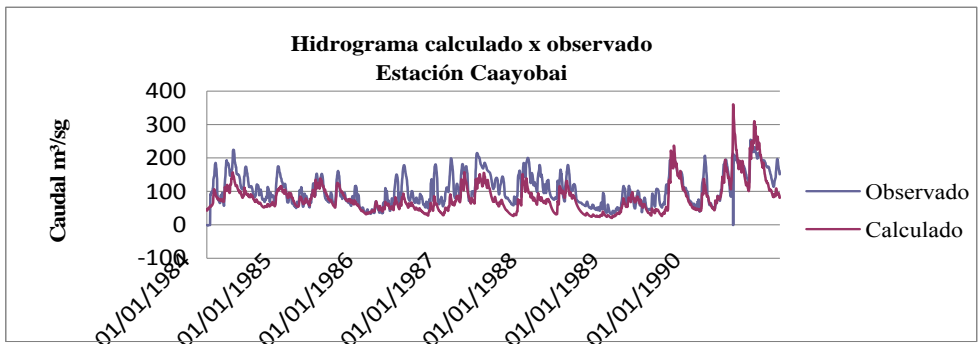


Figura 4. Hidrograma de salida del Puesto Caayobai correspondiente a la subcuena 2.

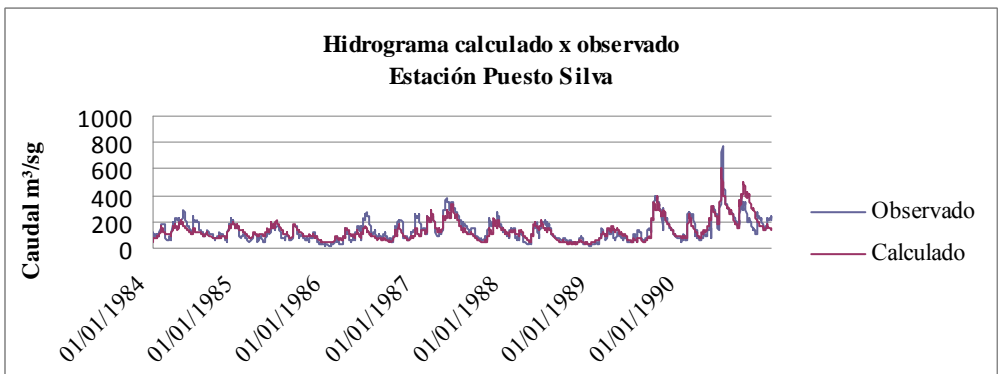
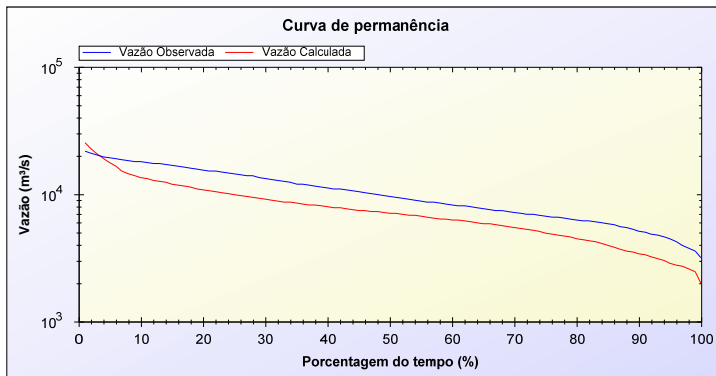
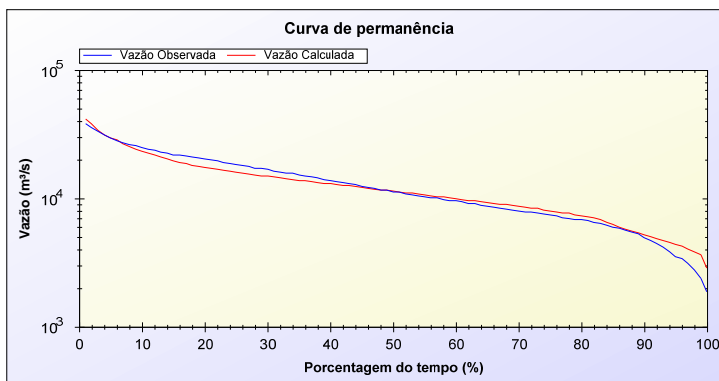


Figura 5. Hidrograma de salida del Puesto Silva correspondiente a la subcuena1.



**Figura 6. Curva de permanência para la subcuenca 2 Puesto Caayobai.**



**Figura 7. Curva de Permanência subcuenca 1 Puesto silva.**

En la primera estación de control, en la estación Cayobai se obtuvieron valores de las funciones objetivo bajas pero dentro del rango de las considerables aceptables. El valor de R2 alcanzado fue de 0.39 y de Rlog de 0.177. Al realizar un análisis visual del hidrograma calculado y observado se puede constatar que existen periodos mejor representados que otros, donde el caudal base es muy bien representado pero no así los picos, por otra parte, la curva de permanencia posee una marcada y constante diferencia entre el caudal observado y calculado. Esta situación se puede deber principalmente a los datos de lluvia, cabe mencionar que si bien el periodo de 1984 al 1990 es de mayor continuidad en datos de caudal, no sucede lo mismo con los datos de lluvia que en algunos casos poseen discontinuidad de días o meses que se refleja directamente en falta de volumen en el hidrograma. El periodo de simulación es el menos homogéneo con respecto a las series de datos de lluvias obtenidas para este modelo lo que responde al bajo valor obtenido para las funciones objetivo (Tabla 1).

Por otro lado utilizando el mismo conjunto de parámetros de los URH también para la cuenca 1 en la estación Puesto Silva se obtuvo un valor alto de los coeficientes objetivos de 0.74 para R2 y 0.76 para el Rlog. Un valor mayor en Rlog significa una correlación mejor en períodos de estiaje, también se observan déficit en los picos de tormenta, que pueden tener relación con el déficit de lluvia de la otra cuenca, que en este caso se ve menos influenciado por las estaciones del extremo oeste de la cuenca como por ejemplo Coronel Oviedo que tiene mayores problemas en su medición. Cabe mencionar que en este trabajo se realizó un análisis básico de los acumulados anuales de lluvia de las estaciones intervinientes en la cuenca y la media de estas según una distribución de peso realizado por Thiessen para grupos de estación por representante de medición. No se realizó el análisis de consistencia de los datos por escapar al alcance de esta tesis y se recomienda la realización de esta en análisis futuros para así lograr mejores resultados.

**Tabla 1. Valores de las funciones objetivo para cada sub cuenca**

	Cuenca alta(sub-cuenca2)	Cuenca baja(sub cuenca1)
Coefficiente de Nash R <sup>2</sup>	0.39	0.739
Rlog	0.177	0.762
Error Vol. (%)	-23.150	-1.119

#### **4. Conclusión**

El Modelo MGB IPH ha sido exitosamente aplicado a la Cuenca del Río Monday, lográndose una buena calibración para toda la cuenca. El Modelo resultó ser apropiado para la simulación de procesos hidrológicos en la cuenca del Río Monday, especialmente considerando la escasa densidad de datos de precipitación y datos de nivel y caudal. Si bien se considera que el Modelo es relativamente complejo en cuanto a su utilización, en particular en lo que se refiere a preparación y formato de datos, y a una interface gráfica aún en etapa de desarrollo, se considera que el modelo podría ser una herramienta apropiada para llevar a cabo los mandatos que se tienen con la Ley de Recursos Hídricos, tal como la realización de balances hídricos por cuenca.

El Modelo MGB, al ser distribuido permite una mejor representación de la cuenca, hecho que se adapta bastante bien para el caso de cuencas de Paraguay que no cuentan con suficiente información hidrometeorológica, y que presentan una gran variabilidad de terreno, tal como la cuenca del Tebicuary [11]. El almacenamiento del suelo juega un papel muy importante así como la evapotranspiración de la cuenca en la cual influye principalmente la vegetación. Siendo que el almacenamiento de la cuenca depende principalmente el uso de suelo, se considera al MGB muy apropiado para estudiar cambios de suelo.

Durante la calibración se encontraron varias limitantes: la discontinuidad de mediciones tanto en los puestos de lluvia como en caudal, la escasa cantidad de puntos de medición de lluvia, falta de información acerca de las campañas de aforo que vinculan nivel y caudal, etc.

Con una mayor cantidad de información hidrometeorológica y la aplicación de este y otros modelos similares a las cuencas del país, se hará posible la elaboración de Balances Hídricos por cuencas, tal como lo requiere la Ley 3239; así también, será posible tomar decisiones de gestión de los recursos hídricos en base un conocimiento del comportamiento de los sistemas y de las implicancias que se puedan dar al intervenir sobre estos sistemas. Otra aplicación de gran importancia a nivel país será la de evaluar posibles impactos de los escenarios climáticos producidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en los caudales máximos o mínimos de los principales ríos interiores del país.

### **Referencias bibliográficas**

1. Leonel Iha B. Gestión integrada de Recursos Hídricos Adaptado de GWP 2008 y CAP-NET. UNDP[Internet]Disponible: <http://www.sswm.info/category/step-gass-en-al/gass-en-castellano/gestión-de-agua-y-saneamiento-sostenible> en América.2010. Acceso 10 de octubre -2014
2. Monte Domeq, R. Gestión integrada de los recursos hídricos y su aplicación al desarrollo nacional. Disertación para el Seminario Taller Visión del Agua Dulce en Paraguay, Organizado por el Centro UNESCO de Asunción .UCA. CIDSEP. 2003
- 3.Paiva, R. Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias estudo de caso: bacia dorio Solimões.Tesis de Maestría- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, 2003
4. 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
5. Mapa de Usos de la Tierra 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. Inventario recursos hidroenergéticos de las cuencas hidrográficas de los ríos afluentes del Paraná y Paraguay en la región oriental del Paraguay (IRHPY). Convenio n° 4500020686/2011. 2011
7. Kouwen, N ., Soulis E D, . Pietroniro A, Donald J and Harrington R A. Grouping Response Units for Distributed Hydrologic Modelling, J. Water Resour. Manag. and Planning, ASCE. 1993. 119 (3) 289-305.
- 8.Cunge J A. On the subject of a Floyd propagation computational Method J of Hydraulic Res. 1969. 7 (2) 205-230.
9. Collischonn, W. Simulação Hidrológica de Grandes Bacias.Tesis de Doctorado- Universidad Federal de Río Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre. 2001
- 10.Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models, part I – a discussion of principles. Journal of Hydrology. 1970. 10 (3) 282-290
11. Annet B. Implementación del MGB-IPH en las cuencas del Río Tebicuary y del Arroyo Ñacunday. Primer informe Parcial. Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos de la variabilidad y el cambio climático. Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. 2014.