

Evaluación del impacto económico en el sector energético dado por los embalses para riego existentes en la cuenca de aporte a Rincón del Bonete

Magdalena Crisci

Instituto de Ingeniería Eléctrica – FING.

Julio 2009

Montevideo - Uruguay.

IMPORTANTE: Este trabajo se realizó en el marco del curso Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica (SimSEE) y fue evaluado por el enfoque metodológico, la pericia en la utilización de las herramientas adquiridas en el curso para la resolución del estudio y por la claridad de exposición de los resultados obtenidos. Se quiere dejar expresamente claro que no es relevante a los efectos del curso la veracidad de las hipótesis asumidas por los estudiantes y consecuentemente la exactitud o aplicabilidad de los resultados.

1 Objetivo.

De acuerdo a los registros de la Dirección Nacional de Hidrografía, existen en la cuenca de Rincón del Bonete 270 embalses y 43 tomas de agua para riego con un volumen total autorizado de aproximadamente 720 Hm³.

La existencia de dichas retenciones de agua dentro de la cuenca, afecta el caudal de salida en su punto de cierre, siendo éste el caudal de aporte a la represa hidroeléctrica Rincón del Bonete.

El objetivo del presente trabajo es evaluar el impacto económico en el sector energético dado por la existencia de dichas retenciones de agua dentro de la cuenca de aporte a Rincón de Bonete.

2 Hipótesis de trabajo.

Las hipótesis asumidas en el presente estudio son las siguientes:

- Se supone que no existe expansión del sistema de generación de energía eléctrica ni de la demanda durante el período de modelación.
- Se considera el precio del combustible constante e igual a USD 80 el barril.
- No se considera la interconexión eléctrica con Brasil
- Se considera que el Bonete es el único generador hidráulico con embalse, representando a Baygorria, Palmar y Salto Grande como generadores hidráulicos de pasada.

3 Metodología.

Para alcanzar el objetivo propuesto, se realizaron dos simulaciones en el modelo SimSEE con diferentes escenarios de caudales de aporte a la cuenca de Rincón del Bonete:

- Escenario con retenciones de agua dentro de la cuenca de Bonete, coincidiendo este escenario con la realidad actual.
- Escenario sin retenciones de agua dentro de la cuenca de Bonete.

El período de simulación para ambos escenarios fue del 2015 al 2035 y se seleccionó un escenario de generación y de demanda constante en el tiempo, congelando la expansión del sistema a partir del año 2015.

Las series de caudales de aporte a Bonete utilizadas para generar ambas corridas, así como la forma en que se obtuvieron, se presentan a continuación.

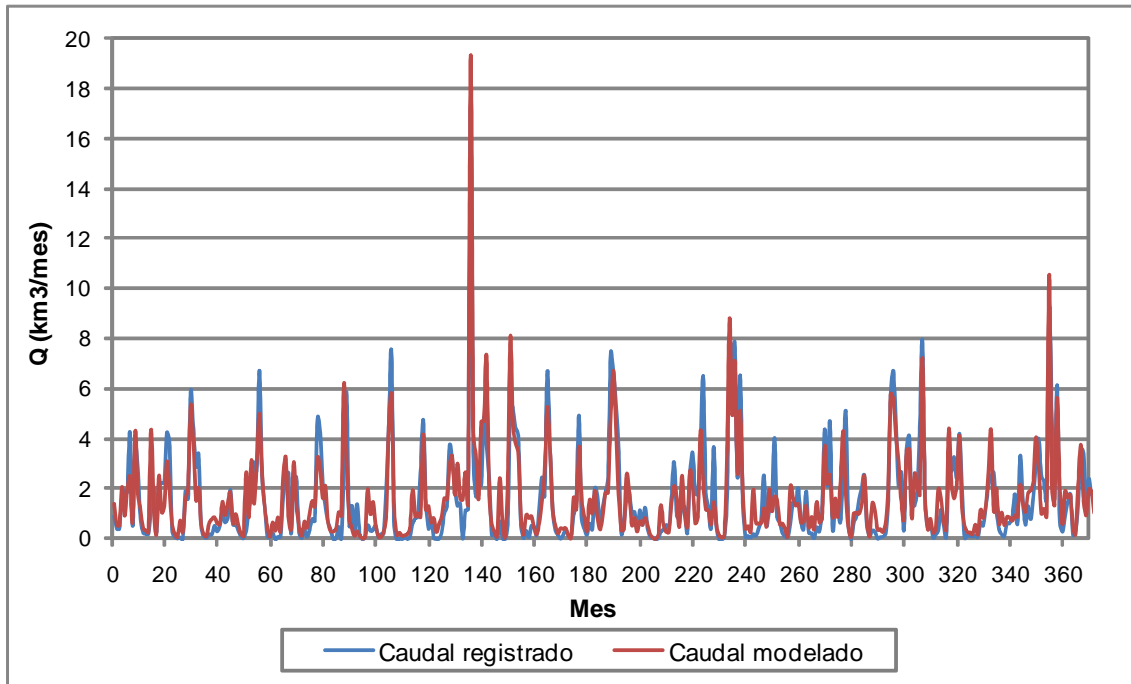
3.1 *Escenario con retenciones de agua dentro de la cuenca*

Debido a que el escenario con retenciones de agua dentro de la cuenca coincide con la realidad actual, la serie de caudales usada para generar este escenario corresponde a la serie de caudales semanales registrada por UTE en Rincón del Bonete para el período 1979-2007.

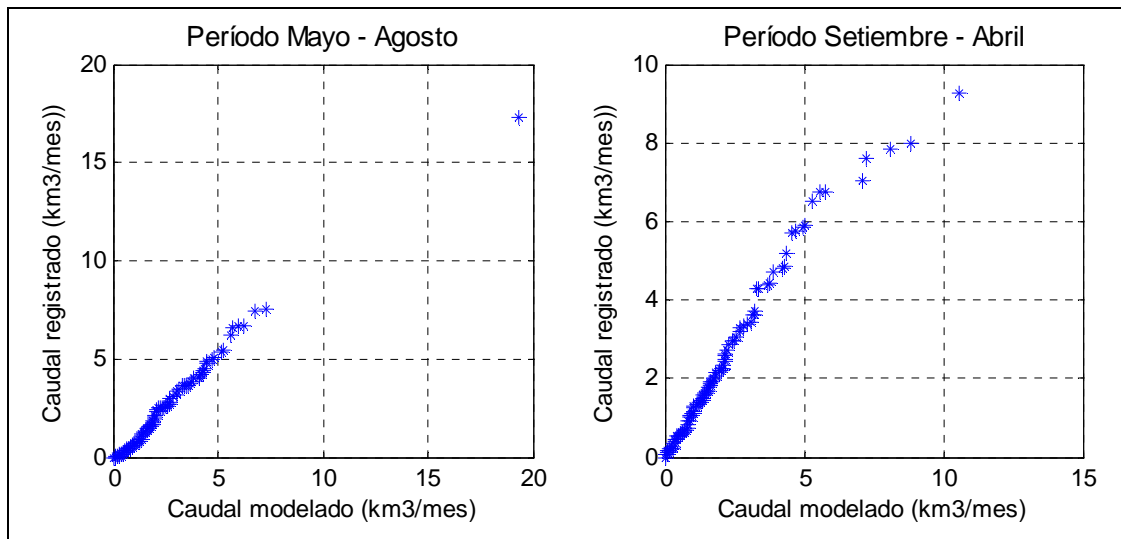
3.2 *Escenario sin retenciones de agua dentro de la cuenca*

Para obtener la serie de caudales de aporte semanales en la cuenca de Rincón del Bonete sin la existencia de retenciones dentro de la misma, se utilizó el modelo precipitación – escorrentía de Temez de paso mensual. A partir de dicho modelo es posible determinar la escorrentía mensual a la salida de una cuenca conociendo su área, la precipitación y la evapotranspiración potencial en la cuenca así como el agua disponible de los suelos presentes en la misma. Además, el modelo tiene 4 parámetros, los que fueron calibrados para Uruguay (Genta et al., 2003), utilizando en esta instancia dichos valores regionalizados.

En primer lugar, se corrió el modelo de Temez en la cuenca de Rincón del Bonete (sin tener en cuenta ningún tipo de retención de agua dentro de la misma) en el período 1945-1978, en el cual casi no existían retenciones de agua dentro de la cuenca. Comparando los caudales mensuales modelados con los registrados por UTE en dicho período, se obtiene un error medio de 1.5%.

Figura 1: Comparación caudales modelados y registrados en el período 1945-1978


Una vez obtenida la serie de caudales modelada en el período 1945-1978, a partir de ella y de la serie registrada por UTE en el mismo período, es posible obtener una función de transformación no paramétrica por época del año, que transforme los caudales modelados en los registrados, de forma tal que las series tengan exactamente la misma distribución de probabilidades. En la Figura siguiente se presentan dichas funciones de transformación para los períodos Mayo-Agosto y Setiembre-Abril.

Figura 2: Funciones de transformación del caudal modelado al observado para los períodos Mayo-Agosto y Setiembre-Abril


Posteriormente, se corrió el modelo de Temez en el período 1979-2007 (sin considerar las retenciones de agua dentro de la cuenca) obteniendo una serie de caudales mensuales a la salida de la cuenca en dicho período. Dicha serie fue posteriormente ajustada a través de la función de transformación determinada en el período anterior (Figura 2),

con el objetivo de remover errores de la modelación y de obtener una serie de caudales modelada más ajustada.

Finalmente, debido a que para la simulación del SimSEE, es necesario conocer la serie de caudales semanales, se pasó de caudal mensual a semanal, suponiendo para cada mes del año, una distribución semanal igual a la observada en la serie de caudales registrada por UTE en el mismo mes.

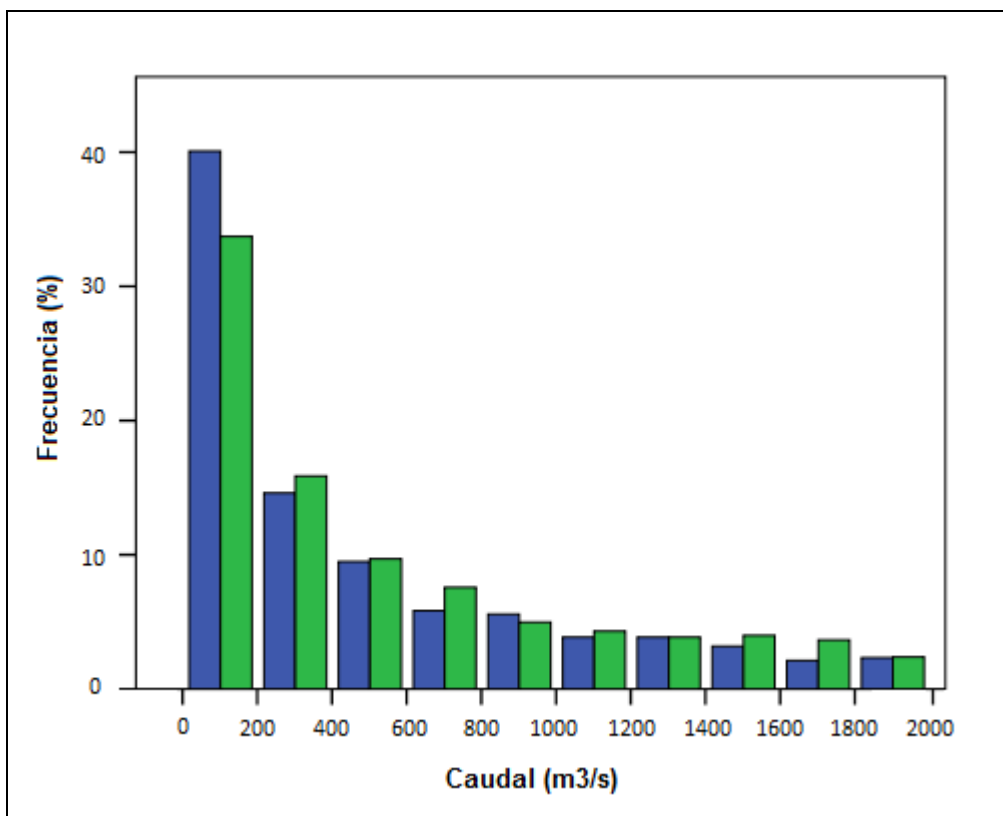
3.3 Descripción de las series de caudales de aporte con y sin retenciones de agua en la cuenca

A continuación se presentan, a modo comparativo, los principales descriptivos de las series de caudales semanales de aporte a Bonete para los dos escenarios planteados.

Tabla 1: Descriptivos de las series de caudales semanales de aporte a Bonete (m³/s) para los dos escenarios planteados

Descriptivo	Escenario con retenciones de agua dentro de la cuenca	Escenario sin retenciones de agua dentro de la cuenca
Media	701.7	787.6
Desviación	924.4	967.4
Máximo	6951.0	7930.8
Mínimo	0.0	0.0

Figura 3: Histograma de frecuencia para caudales semanales entre 0 y 2000 m³/s



En la Figura anterior puede observarse el mayor porcentaje de frecuencias de los caudales más bajos en el escenario con retenciones de agua en la cuenca respecto al escenario sin retenciones de agua dentro en la misma.

La estrategia presentada para la obtención de series temporales de escurrimientos para el clima actual con y sin retenciones en la cuenca es una primera aproximación que sustituye una modelación explícita de ambas situaciones que se hará posteriormente. En el período anterior el modelo de Temez presenta un ajuste muy bueno por lo que es de esperar que la simulación explícita de los embalses también lo sea.

La diferencia de caudales medios que se obtiene con el método simplificado que se usará en este estudio es de $85,9 \text{ m}^3/\text{s}$ lo que representa 2700 Hm^3 en un año, lo que parece exagerado para la capacidad de embalse actual en la cuenca de aproximadamente 700 Hm^3 . De todos modos se procede con esta metodología para obtener al menos resultados cualitativos del impacto.

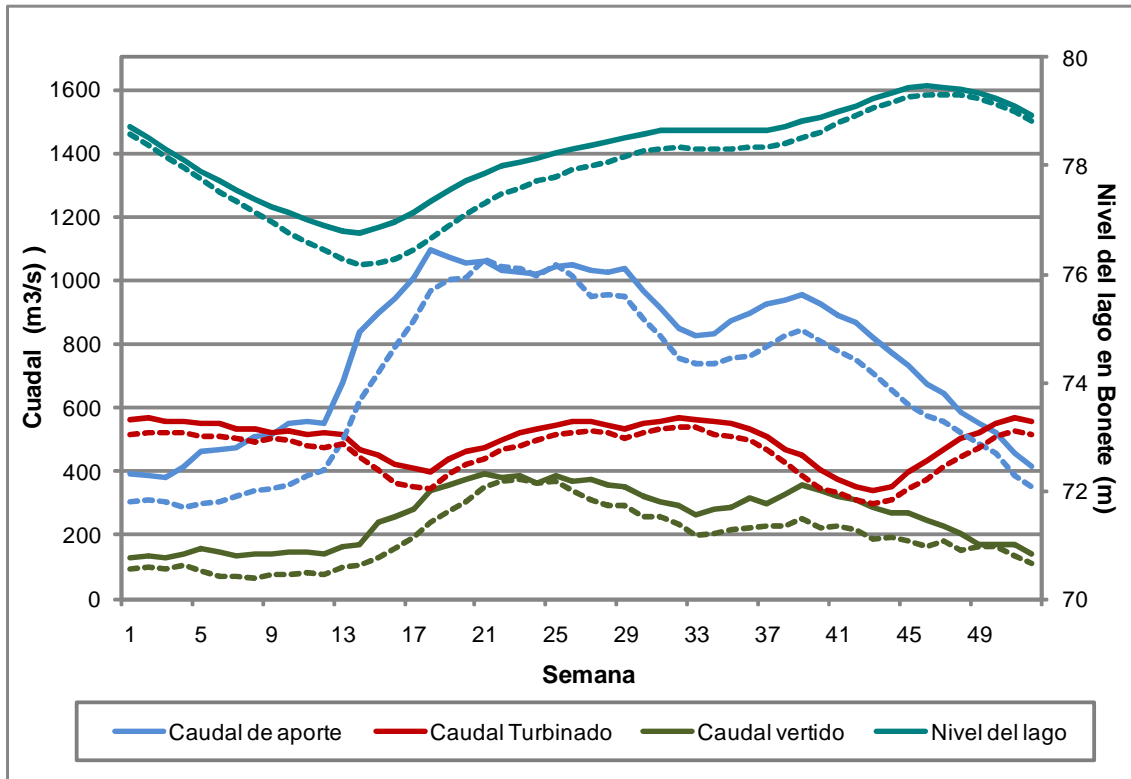
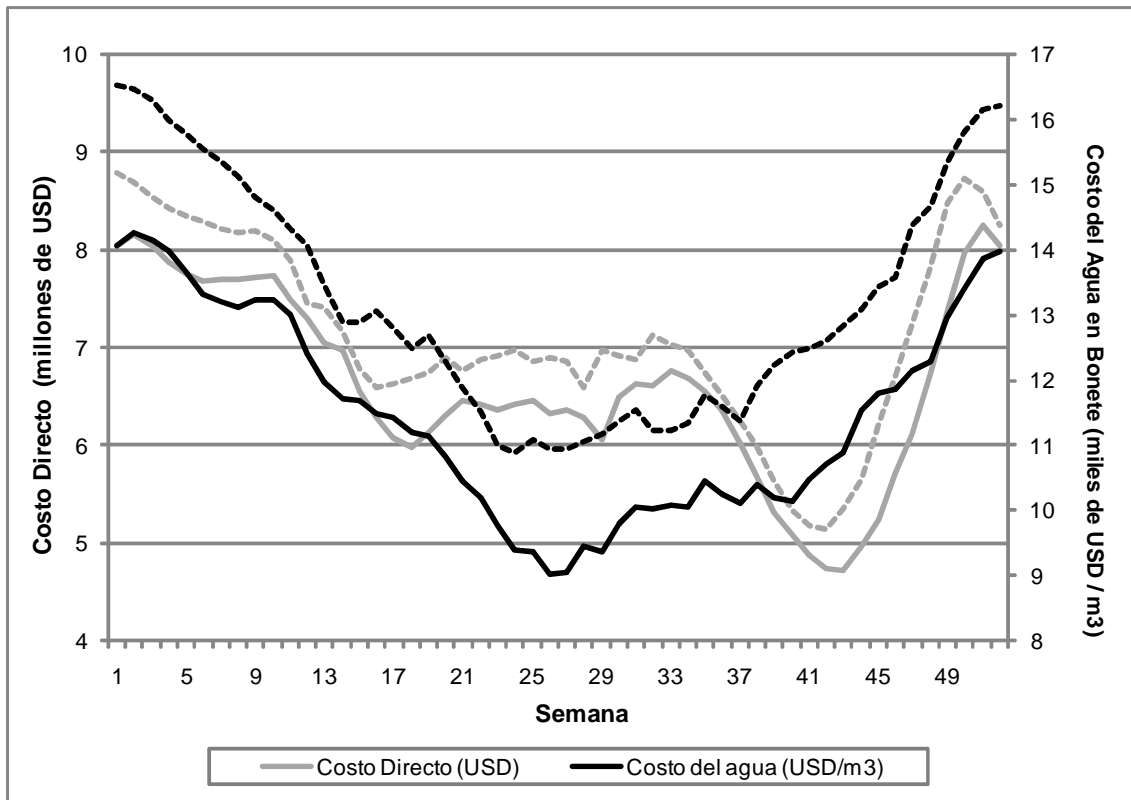
4 Resultados del estudio.

A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos para los dos escenarios planteados para:

- Un año medio: representado como el ciclo anual medio de la crónica promedio.
- Un año seco: representado como el promedio de los años correspondientes al percentil 10 respecto al volumen de aporte anual a Bonete de cada una de las 100 crónicas simuladas.
- Un año húmedo: representado como el promedio de los años correspondientes al percentil 90 respecto al volumen de aporte anual a Bonete de cada una de las 100 crónicas simuladas.
- Distribución de los totales anuales de diversas variables de interés para los casos con y sin retenciones en la cuenca.

4.1 Año medio

En la Figura siguiente se presenta el ciclo anual medio de las principales variables en Rincón del Bonete y en la Figura 5 se presenta el ciclo anual medio del costo directo y del costo del agua en Bonete, para los dos escenarios planteados y año medio.

Figura 4: Ciclo anual medio de las variables de la represa de Rincón de Bonete – Año medio

Figura 5: Ciclo anua medio del costo directo y del costo del agua en Bonete – Año medio


En la Tabla siguiente se presentan los valores anuales de las diferentes variables, para ambos escenarios planteados así como las diferencias entre ellos, para el año medio.

Tabla 2: Valores anuales – Año medio

Variable	Año Medio (Crónica promedio)		
	Sin Retenciones	Con Retenciones	Diferencia (%)
Volumen anual de aporte (km3)	24.7	21.4	-13%
Volumen anual turbinado (km3)	16.1	14.8	-8%
Volumen anual vertido (km3)	8.2	6.2	-24%
Costo Directo Anual (millones USD)	353	379	7%

Más allá de que los aspectos cuantitativos que, como ya se mencionó, no pueden tomarse como definitivos, hay ciertos resultados que es interesante señalar, en particular los que refieren a la magnitud relativa del impacto en las distintas variables presentadas. El impacto directo de los embalses en la cuenca es en el volumen de aporte y, para los años medios, es de 13%. El impacto en el caudal turbinado, sin embargo, es de solo 8%. Esta relación se confirma al comprobar que se vierte un 24% menos. En lo que refiere a costos directos, el impacto es levemente menor que en volumen turbinado, un 7%. Es decir que la señal en los costos directos –que es la de mayor interés- es poco más de un 50% de la señal directa en los aportes al embalse.

4.2 Año seco

En la Tabla siguiente se presentan los valores anuales de las diferentes variables, para ambos escenarios planteados así como las diferencias entre ellos, para el año seco.

Valores anuales – Año seco

Variable	Año Seco (Percentil 10%)		
	Sin Retenciones	Con Retenciones	Diferencia (%)
Volumen anual de aporte (km3)	13.0	10.3	-21%
Volumen anual turbinado (km3)	13.2	11.2	-15%
Volumen anual vertido (km3)	0.9	0.3	-63%
Costo Directo Anual (millones USD)	464	517	11%

Se observa que todas las diferencias porcentuales entre los casos con y sin retenciones son más acentuadas que en el caso del año promedio. En el caso particular de los costos directos anuales, por ejemplo, se pasa de un 7% a un 11%, sobre un costo anual que ya de por sí es significativamente mayor debido a la baja hidraulicidad.

4.3 Año húmedo

En la Tabla siguiente se presentan los valores anuales de las diferentes variables, para ambos escenarios planteados así como las diferencias entre ellos, para el año húmedo.

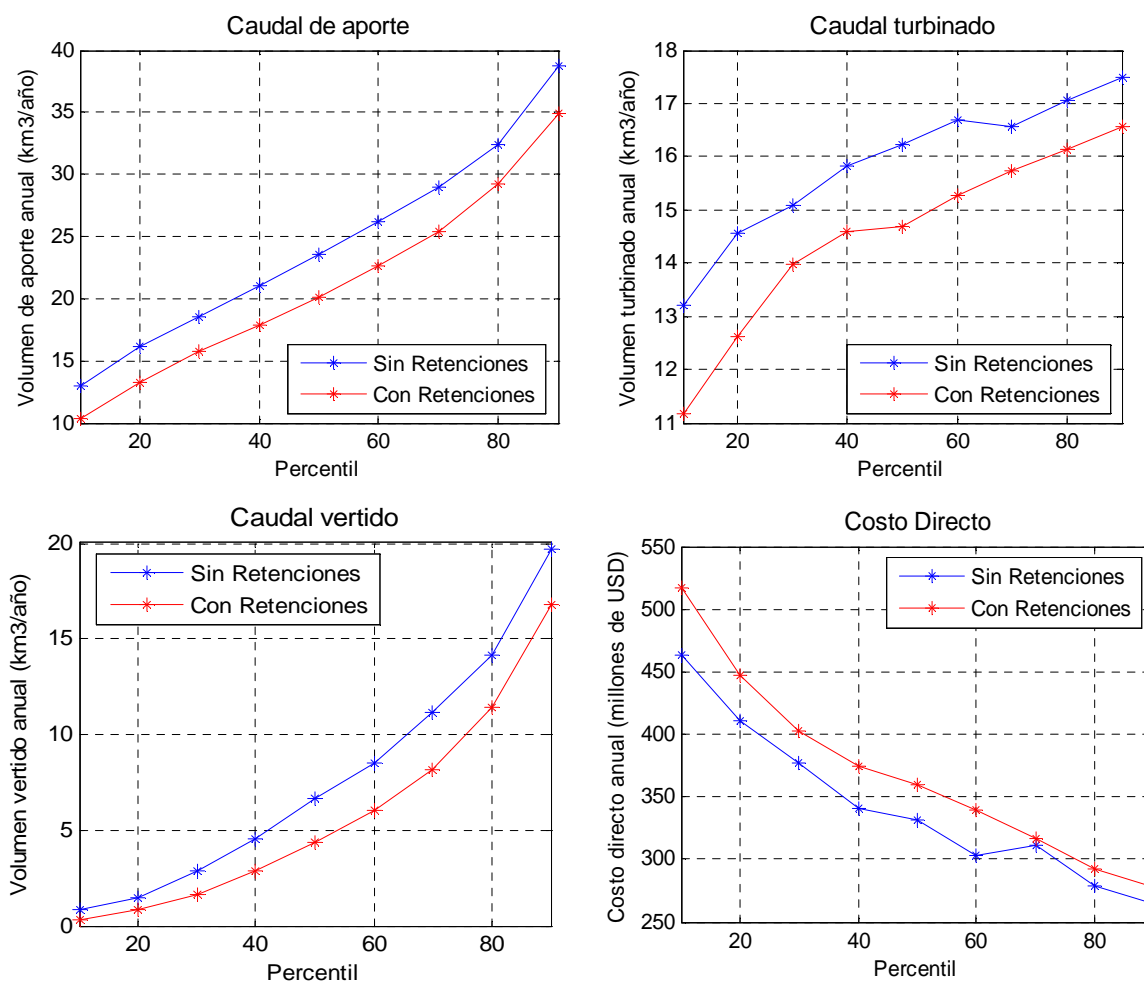
Tabla 3: Valores anuales – Año húmedo

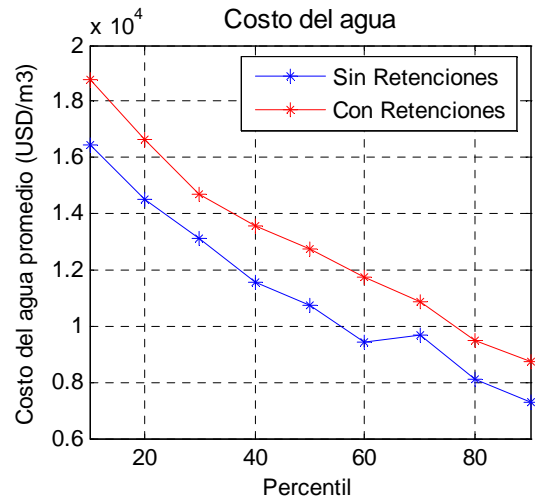
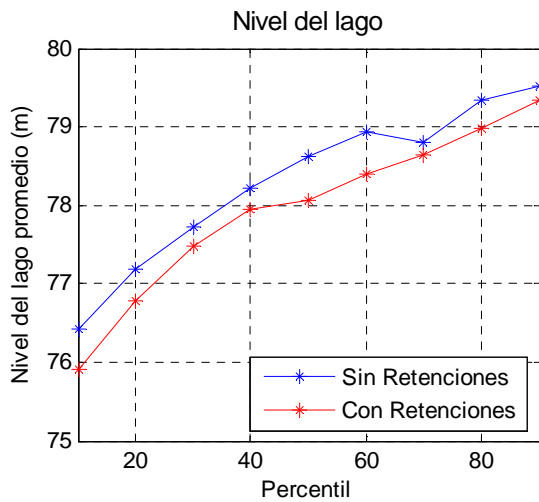
Variable	Año Húmedo (Percentil 90%)		
	Sin Retenciones	Con Retenciones	Diferencia (%)
Volumen anual de aporte (km ³)	38.7	34.9	-10%
Volumen anual turbinado (km ³)	17.5	16.6	-5%
Volumen anual vertido (km ³)	19.7	16.8	-15%
Costo Directo Anual (millones USD)	264	277	5%

Se observa que todas las diferencias porcentuales entre los casos con y sin retenciones son menores que en el caso del año promedio. En el caso particular de los costos directos anuales, por ejemplo, se pasa de un 7% a un 5%, sobre un costo anual que ya de por sí es significativamente menor debido a la alta hidraulicidad.

4.4 Distribución de los totales anuales

Por último, en la figura siguiente, se presenta la distribución de las diferentes variables, para ambos escenarios. Esta información generaliza los casos particulares de años secos y húmedos que se presentaron en los puntos anteriores.

Figura 6: Distribución de las variables para los 2 escenarios planteados




5 Posibles futuros trabajos.

En la etapa siguiente se pretende ajustar la modelación hidrológica realizada a través del modelo de Temez para la situación sin retenciones de agua en la cuenca y modelar explícitamente la situación con retenciones de agua dentro de la cuenca, con el objetivo de poder evaluar el impacto económico de los embalses existentes en la cuenca y, los que eventualmente se pudieran construir a futuro.