

# Algunos desafíos a enfrentar en la modelación hidrológica

Roberto Fredy Ávalos Lingán\*

## RESUMEN

El diseño y la operación de obras hidráulicas requieren, por lo general, información de caudales de un periodo largo. En nuestro país las series largas no son comunes, más aun si el sitio de interés no coincide con la red nacional de mediciones. El hidrólogo se ve con la necesidad de modelar el proceso hidrológico para poder responder a los requerimientos. El objetivo de la presente investigación es descubrir y poner a la luz algunos inconvenientes que pueden ocurrir y complicar la modelación hidrológica, situación que es común en nuestro país.

La primera parte de la investigación consiste en el análisis del comportamiento de la relación lámina de lluvia de la cuenca con los caudales por diferentes pasos de tiempo (de 1 día a 30 días), donde las magnitudes de las láminas y de los caudales fueron determinados mediante el procedimiento de la media móvil. La otra parte de la investigación es la aplicación de modelos hidrológicos conceptuales para observar el efecto de dicha relación en el resultado de la modelación.

Se concluye que para las cuencas investigadas la relación lámina de lluvia-caudal observado tiende a aumentar conforme aumenta el paso de tiempo. Para el caso de 1 día el éxito de los resultados de la modelación está relacionado con el comportamiento de la relación lluvia-caudal.

**Palabras claves:** *Series largas, Lámina de lluvia, Caudales observados, Relación en función del tiempo, Efecto de la relación lámina de lluvia con los caudales observados.*

## ABSTRACT

The design and operation of hydraulic works require, in general, information flows from a long period. In our country, long series are not common, even more so if the site of interest does not coincide with the national network of measurements. The hydrologist is the need to model the hydrological process in order to meet the

---

\* Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil.  
robertofredy@yahoo.com

requirements. The objective of this research is to discover and bring to light some problems that can occur and complicate the hydrologic modeling, real situation in our country.

The first part of the research was the analysis of changes in the ratio of the sheet of rain basin flows couple different time steps (from 1 day to 30 days), where the magnitudes of the plates and flows were determined by the procedure of the moving average. The other part of the research is the application of conceptual hydrological models to observe the effect of that relationship on the outcome of the modeling.

We conclude that investigated the relationship watershed rainfall-flow sheet observed tends to increase with increasing time step. In the case of 1 day the success of the modeling results is related to the behavior of the rainfall-flow relationship.

**Key words:** *Long series, Art of rainfall, flow observed time-dependent relationship, Effect of the rain sheet flows observed*

## I. INTRODUCCIÓN

El diseño y la operación de obras hidráulicas requieren, por lo general, de una serie larga de datos de caudales. Esto se convierte en un reto para el modelador hidrológico, ya que nace la necesidad de disponer también de otras series largas de información, a mencionar: series de precipitación, de evaporación, de aforos, etc., con el fin de poder acceder y aplicar un modelo hidrológico que permita calibrar, interpolar y extrapolar caudales a través del tiempo.

La calidad de los datos y su representatividad se constituye en un desafío que tiene que enfrentar el modelador para lograr obtener una serie larga de caudales confiables. Por otra parte, aparece la pregunta ¿qué modelo utilizar? Para el caso de Honduras no hay mucho que escoger en cuanto a modelos hidrológicos. Los existentes son pocos y han sido elaborados en otros países. El objetivo de la presente investigación es hacer una primera introducción en el tema Relación Lámina de Lluvia y Caudales Observados, con el fin de descubrir algunos inconvenientes que afectan la confiabilidad del resultado de la modelación hidrológica. Para tal efecto hemos considerado únicamente el caso de modelos hidrológicos conceptuales de balance, aunque los resultados que se obtengan pueden ser también aplicables para otros tipos de modelos.

La investigación se ha realizado con información de instituciones gubernamentales correspondientes a la zona occidental, oriental y central de Honduras; es decir, la cuenca del río Jicatuyo en Ulapa, la cuenca Uluita en Uluita y la cuenca Jalán en Corralito. Son cuencas con áreas hidrográficas diferentes, con longitudes de series diferentes y que fueron accesibles para esta investigación.

## II. CUENCAS UTILIZADAS PARA LA INVESTIGACIÓN

La cuenca del río Jicatuyo en Ulapa se encuentra en la parte occidental del país en las coordenadas Lat. Norte  $14^{\circ} 56' 50''$  y Lon. Oeste  $88^{\circ} 36' 38''$  y a una elevación de 330 msnm. El área de la cuenca es de 3556 km<sup>2</sup>. El Plano 1 muestra su ubicación. La cuenca del río Uluita en Uluita se encuentra en la parte central del país, en el Departamento de Intibucá. En el Municipio de Taulabé, entre las coordenadas: Lat Norte  $14^{\circ} 32'$  y  $14^{\circ} 39'$  y Long Oeste  $87^{\circ} 52'$  y  $88^{\circ} 01'$ . El área de la cuenca es de 136 km<sup>2</sup>. El Plano 1 muestra su ubicación. La cuenca del río Jalán en Corralito se encuentra al este del país, en el departamento de Olancho, en las coordenadas Lat Norte  $14^{\circ} 18' 09''$  y Long. Oeste  $86^{\circ} 29' 50''$ . El área de la cuenca es de 1516.2 km<sup>2</sup>. El Plano 1 muestra su ubicación.

## PLANO 1: Honduras. Ubicación de las cuencas en investigación



### III. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para desarrollar la investigación se seleccionó tres cuencas del país: la cuenca a la estación de aforo Ulapa en el río Jicatuyo (estación manejada por la ENEE) ubicada en la parte occidental, la cuenca a la estación de aforo Uluita (estación manejada por la ENEE) ubicada en la parte central y la cuenca a la estación de aforo Corralitos (estación manejada por la ENEE) ubicada en la parte este. No fue posible disponer en esta investigación de datos para la zona norte y sur.

A parte de la distribución espacial de las cuencas seleccionadas, es importante mencionar también la variabilidad de las áreas de dichas cuencas: Ulapa (3556.0 km<sup>2</sup>), Corralito (1516.2 km<sup>2</sup>) y Uluita (136.0 km<sup>2</sup>). Se menciona la variabilidad de las áreas debido a que en nuestro país la representatividad de la lámina de lluvia es aparentemente una función del tamaño de la cuenca, por motivo de representatividad de la red de medición. Para las cuencas mencionadas se dispuso de caudales diarios (m<sup>3</sup>/s), lluvia diaria (mm) y evaporación mensual de tanque tipo A (mm). En cuanto al periodo de información, la de Ulapa fue de 1999 a 2003, para Corralito de 1990 a 1992 y para Uluita de 2001 al 2007. Series de información con diferentes longitudes. El territorio hondureño es orográficamente bien accidentado; es decir, país con abundantes montañas. Las cuencas seleccionadas caen dentro de esta categoría. Los textos recomiendan, en estos casos, aplicar el procedimiento

de isoyetas para determinar las láminas lluvia (esto implica la elaboración de un plano de isoyeta por día), información que no fue posible disponer. También existen otros procedimientos basados en la elevación, para zonas planas y semi planas; tales, gradientes de lluvia, el procedimiento de Thiesem y el promedio aritmético. Para la presente investigación se escogió simplemente el promedio aritmético para las tres cuencas.

## **IV. VARIACIÓN DE LA RELACIÓN LÁMINA DE LLUVIA CON CAUDALES OBSERVADOS**

### **4.1 Generalidades**

La relación lámina de lluvia con caudales observados que se quiere investigar es básicamente el comportamiento de dicha relación en función del tiempo de cálculo de 1 día, 5 días, 10 días, 15 días, 20 días y 30 días. Para cada número de días la lámina es acumulativa y los caudales son promedios; estas magnitudes fueron determinadas mediante el procedimiento de la media móvil. Las formas que hemos escogido para medir dicha relación son gráficamente y mediante el coeficiente de correlación lineal,  $r$ . (se probó con otros tipos de relaciones sin encontrar mejoras sustanciales).

### **4.2 Cuenca Ulapa**

Para el caso de Ulapa el Cuadro 1 y las Figuras de 1 al 6 presentan los resultados. Del Cuadro 1 se observa que conforme aumenta el número de días, la relación entre la lámina de lluvia y los caudales observados también aumenta, teniendo una mayor gradiente en los tiempos de 1 a 10 días.

### **4.3 Cuenca Corralitos**

Para el caso de Corralitos el Cuadro 2 y las Figuras del 7 al 12 presentan los resultados. Del Cuadro 2 se deduce que la relación lámina de lluvia y caudales observados aumenta conforme al número de días, presentando la mayor gradiente en el tiempo de 1 a 10 días.

### **4.4 Cuenca Uluita**

Para el caso de Uluita el Cuadro 3 y las Figuras 13 al 18 presentan los resultados.

Del Cuadro 3 se deduce que la relación lámina de lluvia y caudales observados

aumenta conforme al número de días, presentando la mayor gradiente en el tiempo de 1 a 10 días. Los caudales (Q) de una cuenca hidrográfica dependen principalmente de la lámina de lluvia (P); por consiguiente debe de existir una relación entre ambas variables. Para nuestro caso se probó con una relación potencial, exponencial y lineal. Obteniendo relaciones más altas con la lineal. Posiblemente se debe a que los puntos de la relación  $Q=F(P)$  presenta una gran dispersión.

Las estaciones pluviométricas utilizadas para determinar la lámina de lluvia para cada cuenca se basó en considerar las estaciones existentes al interior de la cuenca y las que están alrededor y relativamente cercanas a la cuenca. El caso más especial fue el de Uluita, donde no existe ni una estación de lluvia al interior de la cuenca: estaciones cercanas y relativamente cercanas fueron seleccionadas para representar la lámina de lluvia de dicha cuenca. En cuanto al número de estaciones pluviométricas a considerar en las láminas, éste no fue el mismo para cada cuenca; ya que depende de la red nacional de estaciones pluviométricas y climáticas y de su ubicación con respecto a la cuenca. En Honduras, cuando la cuenca es pequeña, la posibilidad de encontrar estaciones de lluvia para representar la lámina es menor. Posiblemente sea consecuencia de los criterios utilizados en el diseño de la red nacional de estaciones; que aparentemente está hecha para representar el comportamiento de la lluvia a una escala mayor.

Lo cierto es que en los tres casos investigados la relación de la lámina de lluvia con respecto a los caudales observados son bajos al tiempo de 1 día, pero esto aumenta conforme aumenta el tiempo. La Figura 19 presenta el conjunto de relaciones  $r$  (entre caudal observado y lámina de lluvia) de las tres cuencas en función del número de días. A pesar que solamente se ha considerado tres cuencas, esto muestra (Figura 19) que la tendencia general es aumentar la relación ( $r$ ) conforme aumenta el número de días. Si empieza con una relación baja termina también con una relación baja, cuenca Uluita; lo mismo en la situación contraria, cuenca Corralito. Pero también se presenta el caso que se inicia con una relación baja y puede terminar con una relación alta, tal como lo ocurrido en la cuenca Ulapa.

## **V. EFECTO DE LA RELACIÓN LÁMINA DE LLUVIA CON CAUDALES OBSERVADOS EN EL RESULTADO DE LA MODELACIÓN**

### **5.1 Generalidades**

En este capítulo se quiere mostrar únicamente el efecto de la relación lámina de lluvia con los caudales observados en el resultado de la modelación de caudales

diarios (tiempo 1 día). Para el caso de las cuencas de Ulapa y Corralito se aplicó el modelo conceptual AVAMODEL y para la cuenca de Uluita fue obtenido del Estudio hidrológico del proyecto Hidroeléctrico río Uluita, elaborado por la ENEE, donde se aplicó el modelo HBV. No se pudo aplicar el mismo modelo de los dos casos anteriores por cuestión de información. Lo primordial del presente capítulo no es investigar qué modelo es más eficaz que otro, sino más bien mostrar de forma muy sencilla cómo afecta la relación entre la lámina de lluvia y los caudales observados en los resultados de la calibración.

## **5.2 Resultados de la modelación**

### **5.2.1 Cuenca Ulapa**

El modelo AVAMODEL fue aplicado para el periodo de 1999 a 2003. La Figura 20 muestra el resultado de la calibración y en la Figura 21 la relación caudal observado con caudal modelado. El coeficiente de correlación ( $r$ ) encontrado para el caso de Ulapa es de 0.667.

### **5.2.2 Cuenca Corralito**

Para esta cuenca el modelo AVAMODEL fue aplicado para el periodo de 1990 a 1992. La Figura 22 muestra el resultado de la calibración y la Figura 23 la relación caudal observado con caudal modelado. El coeficiente de correlación ( $r$ ) encontrado para la cuenca Corralito es de 0.942.

### **5.2.3 Cuenca Uluita**

El modelo HBV fue aplicado para esta cuenca considerando el periodo de información del 2001 al 2007. La Figura 24 muestra el resultado y en la Figura 25 la relación caudal observado con caudal modelado. El coeficiente de correlación encontrado para la cuenca Uluita es de 0.484.

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

La primera parte de la investigación se centró en analizar el comportamiento de la lámina de lluvia en relación a los caudales observados. Esto fue aplicado en tres cuencas ubicadas en tres zonas diferentes del país. El periodo de análisis no fue el mismo en las tres cuencas. Si esto hubiera ocurrido posiblemente los valores obtenidos en la relación (lámina de lluvia con caudales observados) de cada cuenca no hubiesen sido los mismos que los obtenidos en la presente investigación. Lo importante de la investigación es que con la información utilizada se observa

claramente que el aumento en el tiempo de análisis de 1 día a 30 días la relación tiende a aumentar; es decir, se mejora (ver Cuadro 4). Esto muestra al modelador una luz de los inconvenientes que podría enfrentar durante la modelación, a fin de estudiar mejor la lámina de lluvia y los caudales observados y no pensar que probablemente sea el modelo utilizado.

La segunda parte de la investigación es solamente una aplicación de una modelación hidrológica conceptual diaria (Tiempo 1 día), donde se observa el efecto de lo mencionado en la primera parte de la investigación en la performance del modelaje hidrológico. De esta segunda parte podemos decir que cuando mayor es la relación lámina de lluvia con caudal observado se tiende a obtener una mayor relación entre caudal observado y el caudal modelado.

## VII. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se mencionarán a continuación son válidas para las cuencas investigadas:

- a. Se concluye que cuando el paso de tiempo de análisis en la relación lámina de lluvia de la cuenca y sus caudales observados aumenta (1 a 30 días) dicha relación tiende también a aumentar.
- b. Se concluye también que cuando mayor es la relación entre lámina de lluvia y caudal observado el producto esperado de la modelación hidrológica tiende también a ser de mayor calidad.

## VIII. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se plantearán a continuación van dirigidas a abrir camino para continuar con la investigación sobre el tema que se ha desarrollado en el presente informe; ya que esto permitirá adquirir más conocimientos sobre lo que implica modelar una cuenca hidrográfica.

- a. Se recomienda continuar con la investigación a cuencas de la zona sur y norte del país, a fin de obtener conclusiones generalizadas.
- b. En la modelación hidrológica no sólo participa la lámina de lluvia sino también la variable evaporación (lámina de evaporación). Se recomienda, al igual como se consideró la lámina de lluvia, investigar la evaporación en relación a los resultados de la modelación con respecto a los caudales observados.
- c. En la presente investigación la variable caudal observado no ha sido analizada en sí misma. Se recomienda investigar la confiabilidad y representatividad de

dicha variable. Hay casos en el país en que los caudales observados (especialmente en cuencas pequeñas) parecen ser que pertenecen a cuencas exageradamente lluviosas y que aparentemente sobrepasan las lluvias normales y máximas observadas por la red nacional de mediciones del país. ¿Será que se necesitan más estaciones medidoras en las zonas montañosas?

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Ávalos Lingán, Roberto. (2009). Modelo AVAMODEL. Investigación del Modelaje Hidrológico. Tegucigalpa.
- Bergstrom, Sten. (1970). Modelo HBV. Hydrological Bureau Waterbalance Division. Suecia.
- Empresa Nacional de Energía Eléctrica. Organismo proporcionador de la información hidrológica
- Empresa Nacional de Energía Eléctrica. Proyecto Hidroeléctrico Uluita. Estudio Hidrológico
- Guerrero, José Luis. (2009). Calidad de la información pluviométrica y de caudales de la parte alta de la cuenca del río Choluteca. Suecia: Universidad de Uppsala.

## X. ANEXOS

**Cuadro 1:** Ulapa. Variación del coeficiente de correlación

No. días	R
1	0.324
5	0.571
10	0.663
15	0.695
20	0.714
30	0.737

**Figura 1:** Ulapa. Tiempo de 1 día

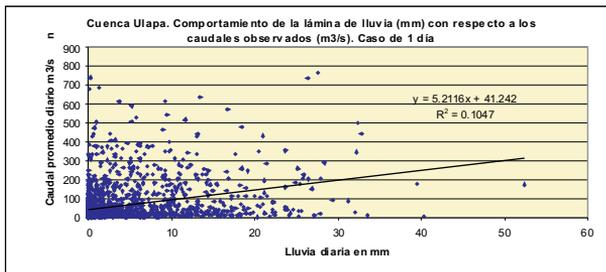


Figura 2: Ulapa. Tiempo 5 días

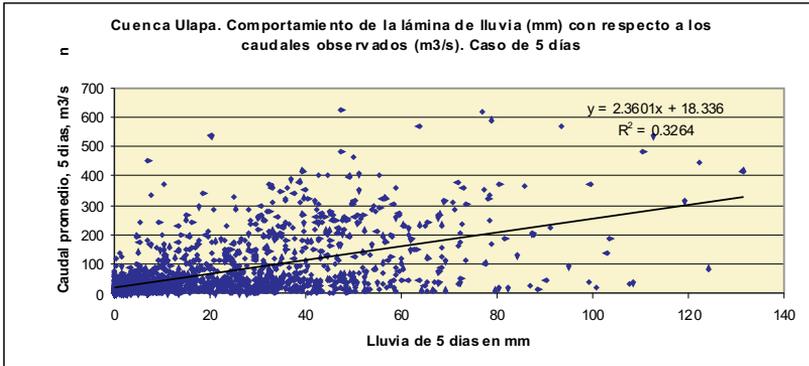


Figura 3: Ulapa. Tiempo 10 días

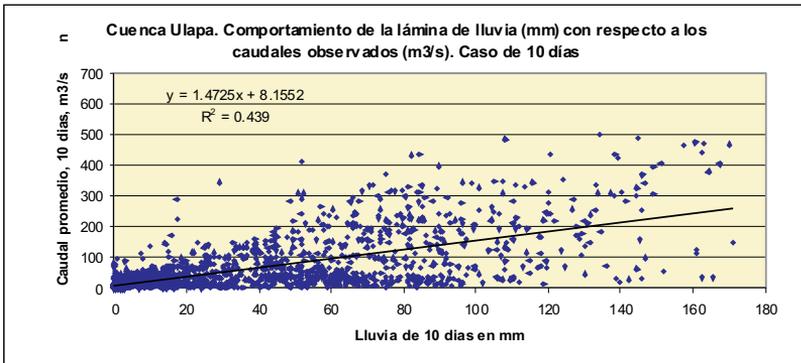
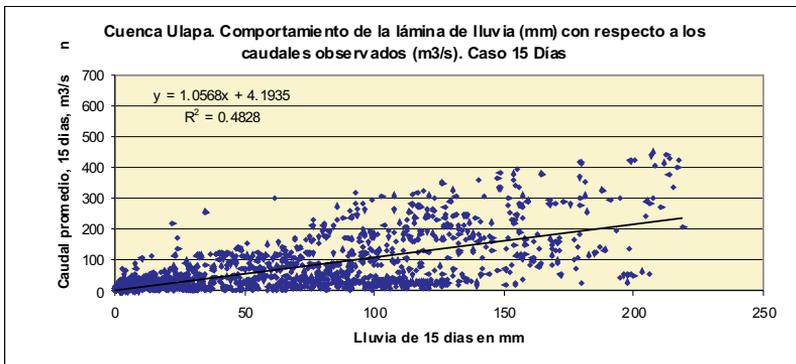
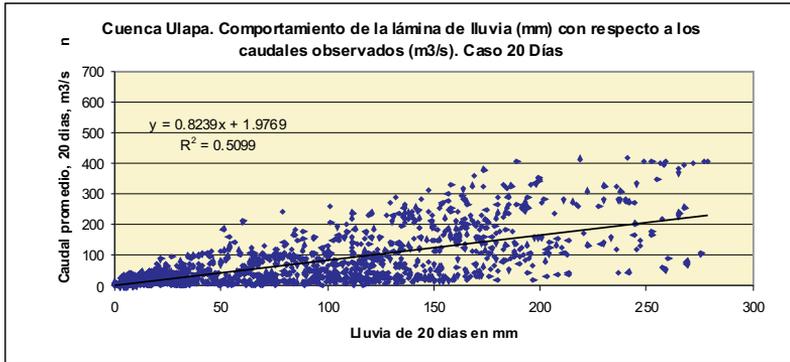


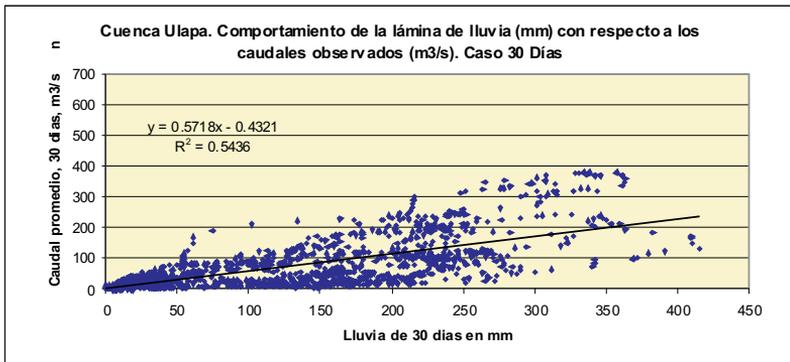
Figura 4. Ulapa. Tiempo 15 días



**Figura 5.** Ulapa. Tiempo 20 días



**Figura 6:** Ulapa. Tiempo 30 días



**Cuadro 2:** Corralito. Variación del coeficiente de correlación

No. días	R
1	0.537
5	0.691
10	0.740
15	0.748
20	0.747
30	0.749

Figura 7: Corralito. Tiempo 1 día

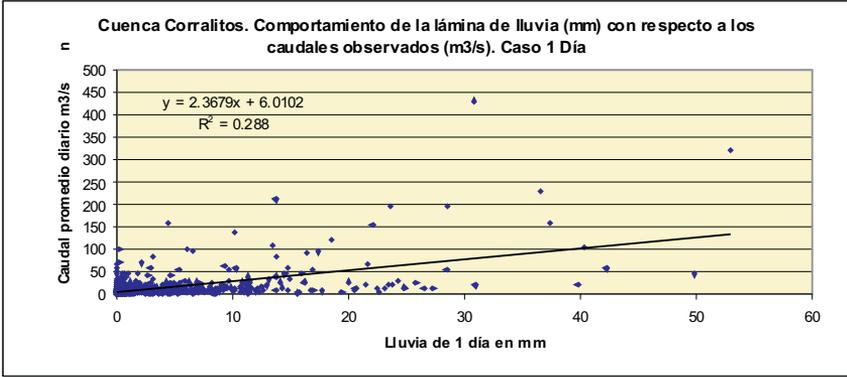


Figura 8: Corralito. Tiempo 5 días

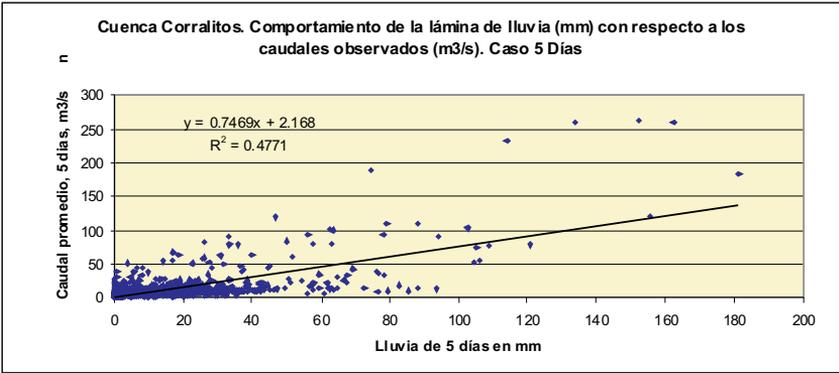
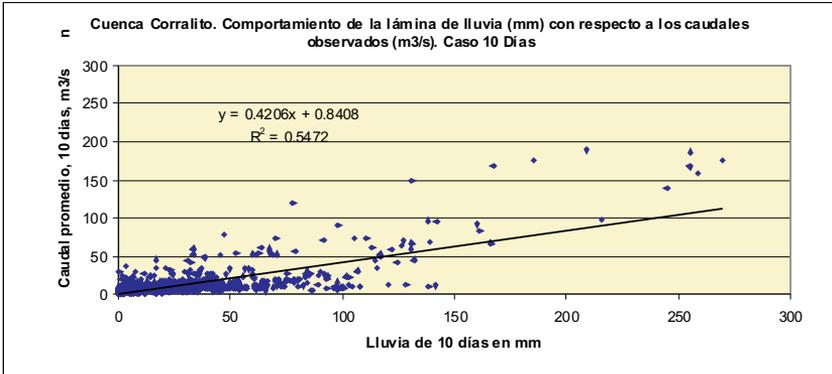
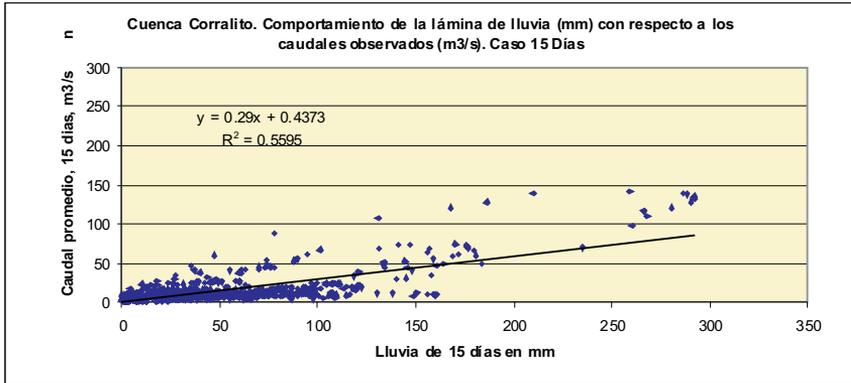


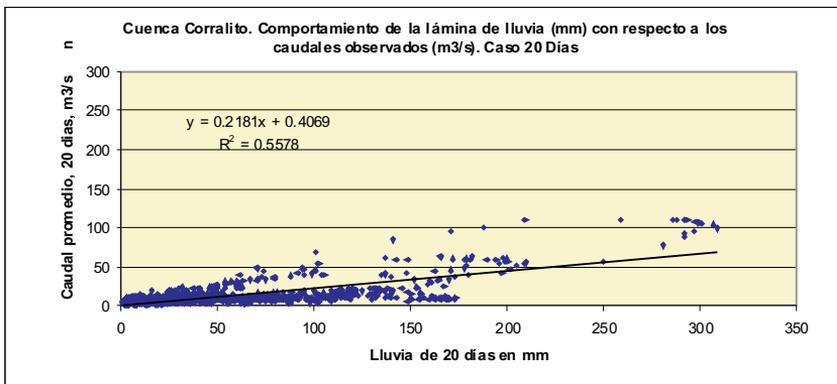
Figura 9: Corralito. Tiempo 10 días



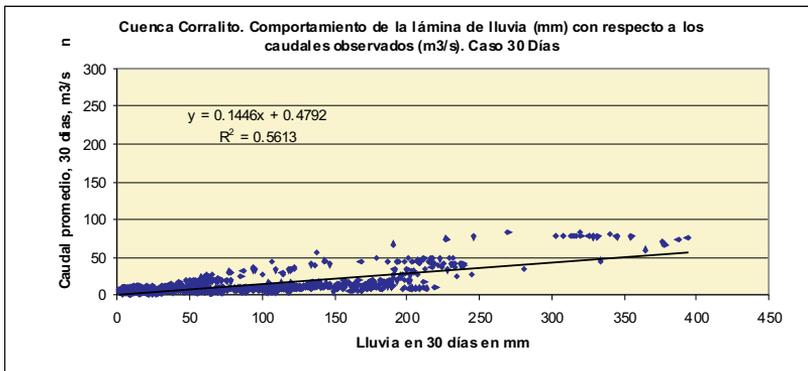
**Figura 10: Corralito. Tiempo 15 días**



**Figura 11: Corralito. Tiempo 20 días**



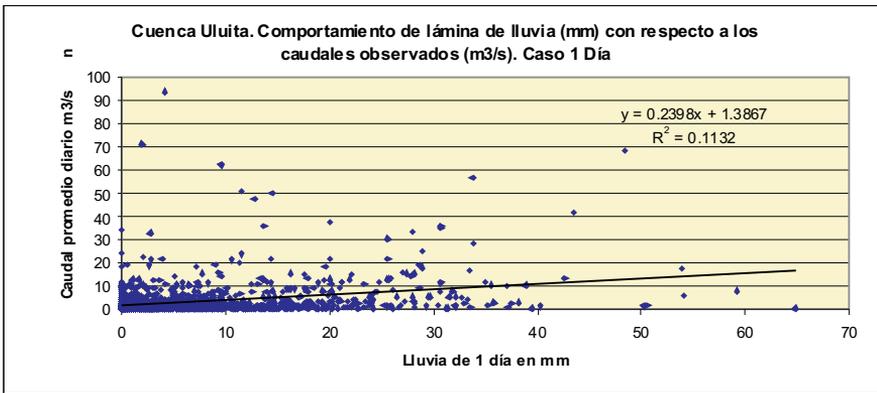
**Figura 12: Corralito. Tiempo 30 días**



**Cuadro 3:** Uluita. Variación del coeficiente de correlación

No. días	R
1	0.336
5	0.482
10	0.507
15	0.524
20	0.542
30	0.573

**Figura 13:** Uluita. Tiempo 1 día



**Figura 14:** Uluita. Tiempo 5 días

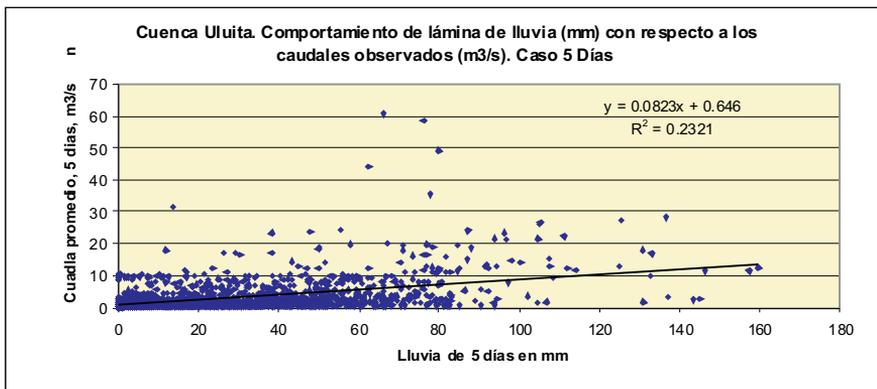


Figura 15: Uluita. Tiempo 10 días

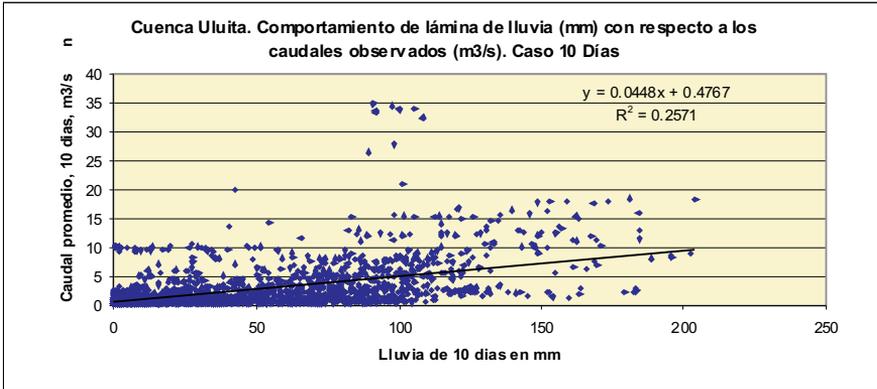


Figura 16: Uluita. Tiempo 15 días

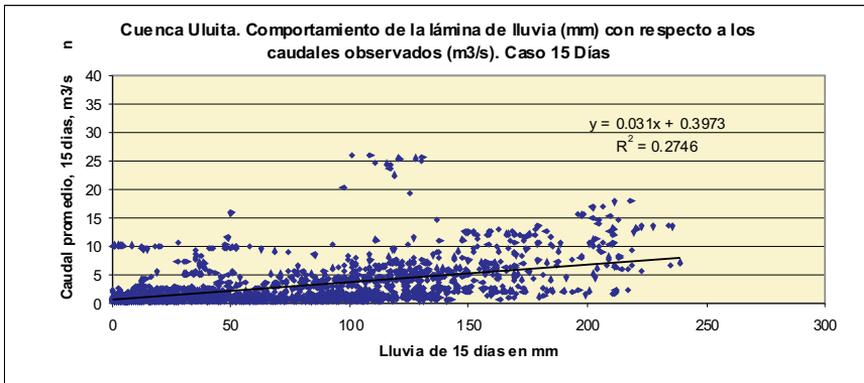
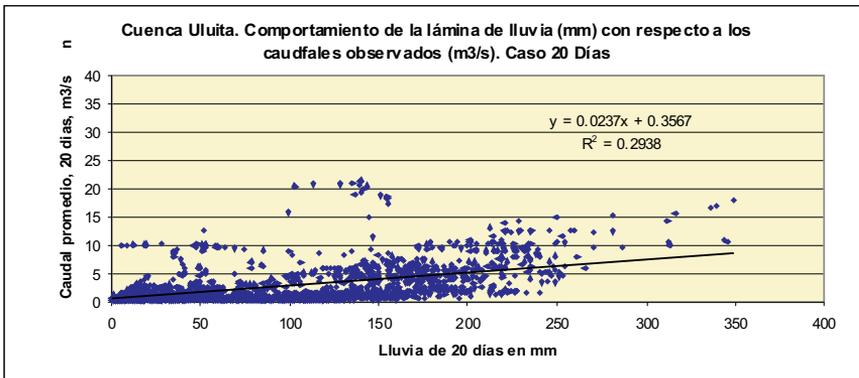
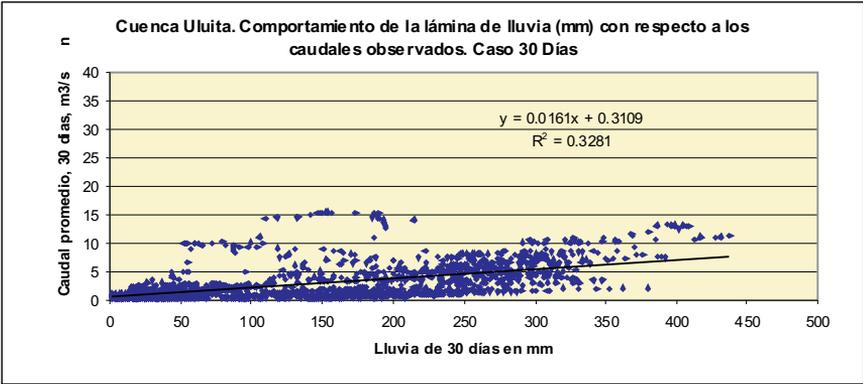


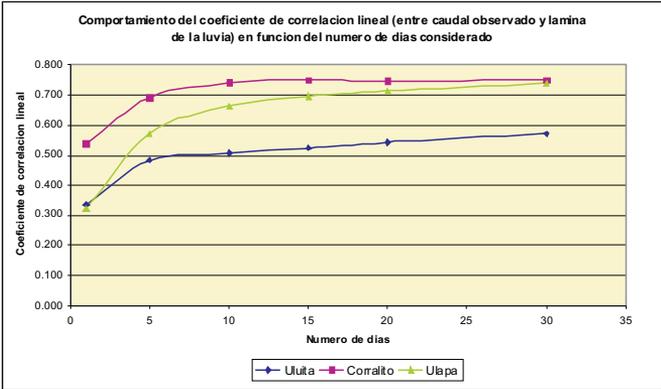
Figura 17: Uluita. Tiempo 20 días



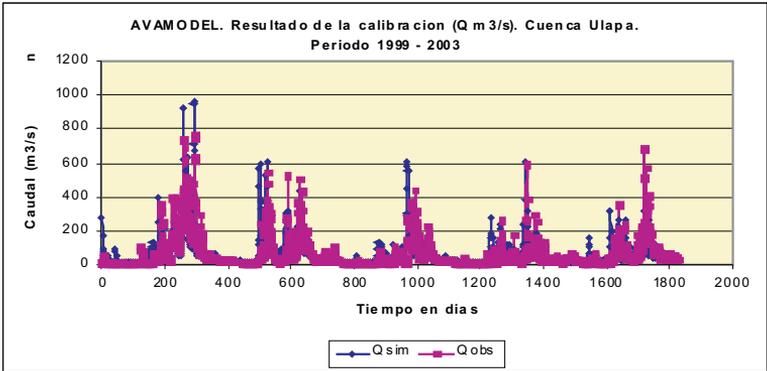
**Figura 18:** Uluita. Tiempo 30 días



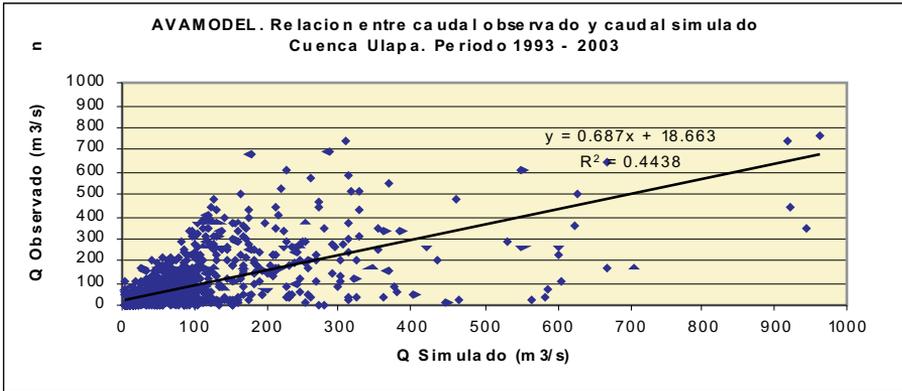
**Figura 19:** Comportamiento del coeficiente de correlación en función del número de días



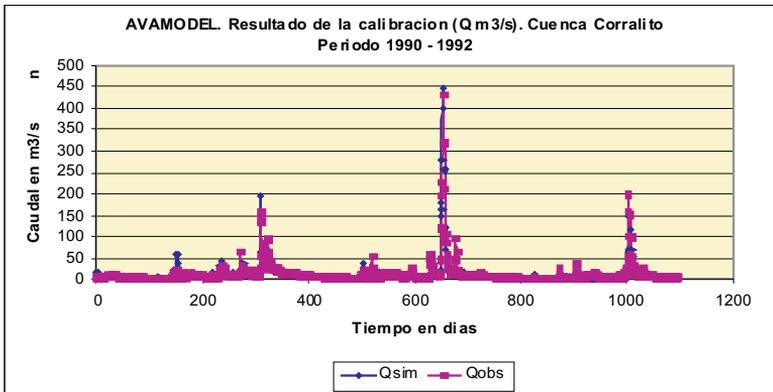
**Figura 20:** Cuenca Ulapa. Resultado de la Modelación



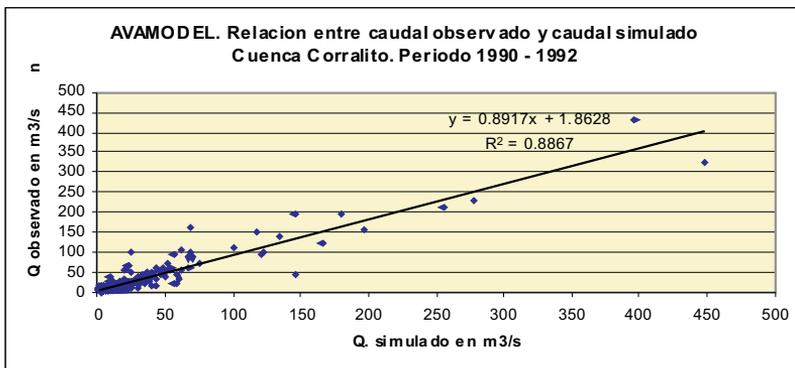
**Figura 21:** Cuenca Ulapa. Relación caudal observado con caudal modelado



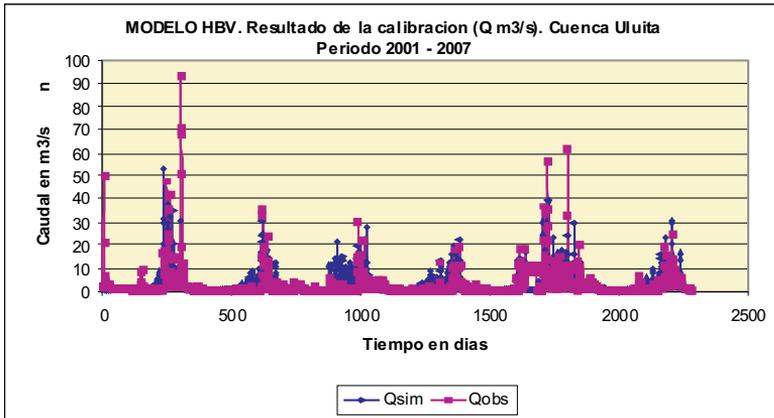
**Figura 22:** Cuenca Corralito. Resultado de la modelación



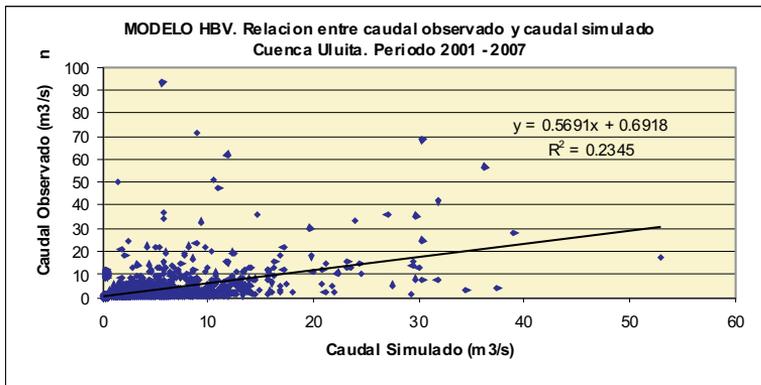
**Figura 23:** Cuenca Corralito. Resultado caudal observado con caudal modelado



**Figura 24:** Cuenca Uluita. Resultado de la modelación



**Figura 25:** Cuenca Uluita. Resultado caudal observado con caudal modelado



**Cuadro 4:** Comportamiento de la relación (r) en función del número de días

No. días	Coeficiente de correlación lineal (r)		
	Uluita	Corralito	Ulapa
1	0.336	0.537	0.334
5	0.482	0.691	0.571
10	0.507	0.740	0.663
15	0.524	0.748	0.695
20	0.542	0.747	0.714
30	0.573	0.749	0.737