

# PRONÓSTICO HIDROLÓGICO

*Roberto Ávalos Lingan  
Departamento de Ingeniería Civil  
UNAH*

## RESUMEN

Los daños causados por fenómenos meteorológicos extremos, tal como el ocurrido durante el Huracán/Tormenta Tropical Mitch, en los 15 días finales del mes de Octubre de 1998, despertó la idea de llevar a cabo el Proyecto de Pronóstico Hidrológico para la cuenca de la Central Hidroeléctrica General Francisco Morazán, mas conocido como El Cajón (la central más importante del país). El proyecto tiene como objetivo principal pronosticar, con un día de anticipación, los volúmenes de agua que llegarían al embalse y los niveles del agua, debajo de dicho embalse. El proyecto en sí, ha sido concebido por etapas; entendiéndose que en cada etapa el producto es mejorado. Esto es debido, que en la actualidad, la Empresa Nacional de Energía Eléctrica no se dispone de toda la información y tecnología requerida para tal efecto.

Los pronósticos cuantitativos de la lluvia diaria fueron realizados, tomando en consideración los modelos globales como el AVN, MRF, NGM y ETA; proporcionados via internet por los E.U.A y los datos de lluvia diaria a las 7

a.m. de cada día de 24 estaciones de lluvia.

El modelo utilizado para desarrollar los pronósticos de volúmenes y niveles es el Mike 11, de origen danés y cuyos programas fueron desarrollados por el Instituto Hidráulico Danés (DHI).

La cuenca en estudio cubre un área de 8,640 km<sup>2</sup> y se encuentra en la parte central del país, aguas abajo y a unos 40 km se desplaza el Valle de Sula, que es la zona económica más importante del país y es además, la que frecuentemente se ve afectada por las inundaciones.

En este informe se analiza el producto de las dos primeras etapas; es decir, los resultados del año 1999 y los del 2000, haciendo más énfasis en la última. Los resultados obtenidos anima a continuar con las otras etapas y llegar así, a un buen programa de pronóstico hidrológico para la Central El Cajón; que apoye la operación del embalse, que sustente los derrames y los impactos agua abajo.

## INTRODUCCIÓN

Hace cuatro años que la Subdirección de Investigación de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) tiene calibrada la cuenca del Valle de Sula; el modelo utilizado es el Modelo MIKE 11, de origen danés y que contiene en otros los subprogramas Hidrológico (HBV) e Hidráulico (HD). Dentro del esquema de la modelación, se encuentra la cuenca que contiene la central hidroeléctrica más importante del país; la Central Hidroeléctrica General Francisco Morazán, mas conocida como El Cajón. Dado la importancia de dicha central y dado también, la ocurrencia de los últimos eventos meteorológicos

que han impactado catastróficamente el país, se decidió iniciar en Octubre del año 1999 el proyecto de Pronóstico Hidrológico; con el fin de conocer con un día de anticipación los volúmenes de agua que llegarían al embalse El Cajón; permitiendo una mejor operación del embalse.

Este informe encierra los resultados obtenidos de nuestros primeros pasos en cuestión de pronóstico hidrológico, aplicado al pronóstico volúmenes de agua que llegarían al embalse El Cajón, con un día de anticipación.

## ANTECEDENTES

La Central Hidroeléctrica General Francisco Morazán (El Cajón) fue inaugurado hace aproximadamente 20 años. Es en la actualidad la más importante del país como embalse, como generador de energía eléctrica y como controlador de las crecidas y las inundaciones que llegan al Valle de Sula.

Cabe señalar que el Valle de Sula es la zona agrícola e industrial más importante del país. Los ríos que drenan hacia el valle son Ulúa y Chamelecón, las dos suman un área de 26,400 km<sup>2</sup>. El sitio de presa para El Cajón cubre una cuenca de 8,640 km<sup>2</sup> y forma parte del río Ulúa. Los ríos que aportan agua al embalse son el Comayagua y el Sulaco. El Plano 1 presenta la ubicación general de las cuencas mencionadas.

La inundación provocada por el Huracán/Tormenta Tropical Mitch en Octubre de 1998, incentivó a iniciar un Programa de Pronósticos Hidrológicos, con el fin de conocer con un día de anticipación los volúmenes (o aportes) que entrarían al embalse El Cajón. En el año 1999 se hicieron los primeros pasos. Durante el desarrollo del Proyecto Modelación Matemática para el Pronóstico Hidrológico a Tiempo Real y Control de Crecidas en Centroamérica, patrocinado por DANIDA por intermedio del Instituto Hidráulico Danés, llevado a cabo en los años 1993 - 1996; se logró en ese tiempo, calibrar el Modelo MIKE 11 para toda la cuenca del Valle de Sula. De esta calibración se obtiene toda la esquematización hidrológica e hidráulica y los

parámetros ajustados a la cuenca que cubre el embalse El Cajón. Para el primer ensayo de pronóstico, en 1999; no se realizó ninguna variación a la calibración mencionada; sabiendo de antemano que el Huracán/Tormenta Tropical Mitch, produjo cambios, en especial, en las secciones transversales.

Durante el mes de Octubre de 1999 se inició el Programa de Pronóstico Hidrológico; comenzando ese primer año como un primer intento de pronóstico de volumen al embalse El Cajón, con un día de anticipación. Para desarrollar dicho programa, se contaron diariamente, por vía teléfono y radio, las lluvias de las 7 am de 16 estaciones. De igual forma de estas 16 estaciones, se obtuvieron sus datos históricos. Se dispuso de fotografías obtenidas por Internet y de ensayos de pronósticos cuantitativos (con un día de anticipación) de la lluvia para la cuenca El Cajón. Sobre todo, se contó con el deseo firme de hacer el pronóstico, sabiendo de las limitantes que se presentaron.

A pesar que los pronósticos realizados en 1999 fueron a nivel de ensayo, sirvieron en ese año, como soporte a la operación del embalse El Cajón. También se constituyeron en una experiencia valiosa, descubriendo debilidades y fijando puntos a mejorar, para la llegada del próximo período lluvioso y estar preparado para proporcionar un mejor producto. Cabe remarcar que lo realizado es historia en la ENEE y en el país.

El Cuadro 1 presenta los resultados obtenidos durante programa de pronóstico, ocurrido en Octubre de 1999.

### Cuadro 1

#### Resumen de los resultados obtenidos en el mes de Octubre de 1999

Período Año	Variable Lluvia en mm			Variable Volumen Mm		
	Observ	Pronostic.	Coef. Corr.	Observ.	Pronostic.	Coef. Corr.
1999	6.3	7.3	0.09	35.28	45.77	0.54

Las figuras 1 y 2 presentan la relación entre los diferentes parámetros que se han comparado para llevar a cabo los análisis de los resultados de los pronósticos en octubre de 1999.

El ensayo de pronóstico realizado en 1999, permitió descubrir algunos aspectos que deben ser mejorados en el año 2000. A citar:

- 1) Mejorar la metodología y tecnología de pronóstico cuantitativo de la lluvia. No basta la lluvia de las 7 am y una imagen de internet, cuyas proyecciones no considera las condiciones regionales de Centroamérica y las locales, que fijan el comportamiento meteorológico del país y de la cuenca en estudio.
- 2) Desarrollar nuevas alternativas para disponer de información de lluvia y nivel.
- 3) La ENEE tiene mucho interés en lo que pasaría aguas abajo de la presa El Cajón, en situaciones de derrames. Se necesitan actualizar las secciones transversales aguas arriba y aguas abajo del embalse e incluir algunas otras.
- 4) La calibración del MIKE 11 debe de reajustarse a las nuevas condiciones, después del Huracán/Tormenta.

FIGURA 1: LLUVIA OBSERVADA Y PRONOSTICADA

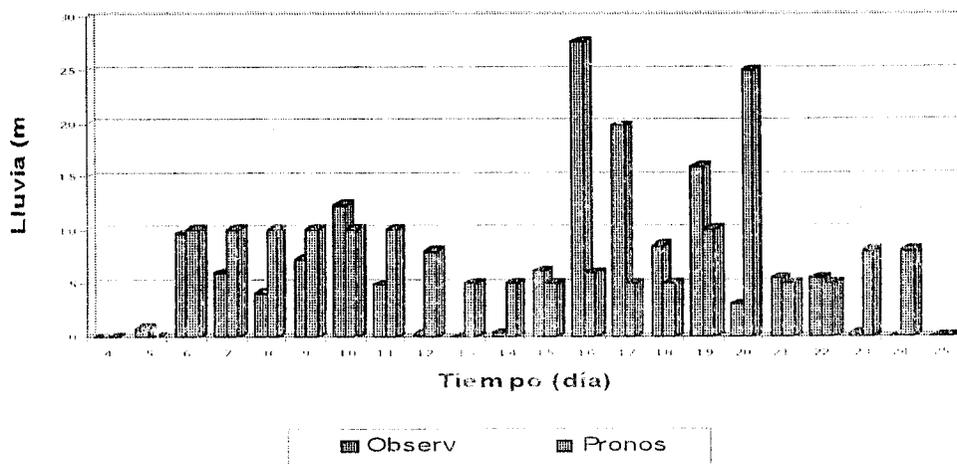
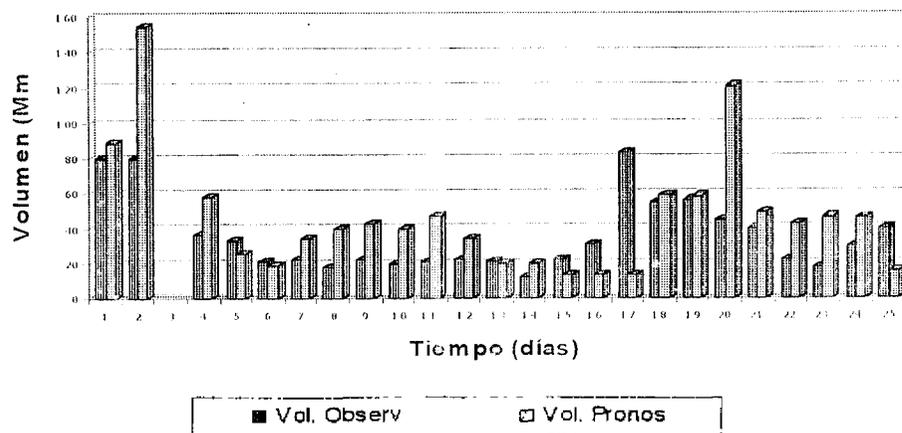


FIGURA 2: VOLUMEN OBSERVADO Y PRONOSTICADO



## RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO METEOROLÓGICO

### **Mes de Mayo**

Se caracterizó por iniciar su actividad lluviosa en la segunda década del mes, mostrándose de manera aislada, para activarse significativamente en la tercera década; debido a la invasión de ondas tropicales, a la subida de la zona intertropical de convergencia hasta los 11° grados de latitud Norte.

Del 25 al 31 de mayo se recibieron aproximadamente 600 mm de precipitación donde el 30 y 31 se acumularon 273.2 mm por la presencia sobre la porción central con movimiento al Oeste de una vaguada de origen térmico sobre el país

### **Mes de Junio**

La primera onda tropical se genera y manifiesta los días 1 al 3 (el 4 con menor intensidad) del mes de junio, registrando un total de 435.9 mm de precipitación, la onda se reflejó hasta los niveles superiores, pero no se desarrolló.

Los días del 7 al 9 de junio ocurrió una nueva onda tropical que succionó la zona intertropical de convergencia hasta los 11° grados, provocando 417.7 mm de precipitación, cubriendo las zonas Central y Occidental del país. Núcleos nubosos convectivos permanecieron sobre el Centro y Sur por tres o cuatro días provocando precipitación achubascada intermitente, estimándose, entre 150/300 mm de precipitación.

En la última o segunda quincena del mes de junio se presentaron tormentas aisladas provocadas por zonas convectivas aisladas a excepción de los días 23, 24 y 25 que recibieron la visita de la tercera onda tropical de la temporada. Es de hacer notar que los fenómenos tropicales no presentaban violencia, comparados con el año anterior y es muy probable se muestre como un año promedio.

### **Mes de Julio**

La ITCZ entre los 9° y 11° grados Norte con el paso de cinco ondas tropicales los días 3 y 30 del mes, donde fue afectado todo el país, los fenómenos provocaron tormentas eléctricas y precipitación intermitente de carácter débil ocasionalmente moderadas. Tres vaguadas los días 6, 20, 26 y 27 completaron el mes de julio,

dejando un total aproximado de 207.4 mm en los cuatro días.

Estos fenómenos meteorológicos se movieron de Este a Oeste y en los días mencionados se reflejó en nuestra área de interés.

### **Mes de Agosto**

Mes invadido por 4 ondas tropicales los días 1 y 2 que aportó sobre la zona Occidental, del país, más de 500 mm de precipitación en los dos días.

Una segunda onda tropical los días, 5, 6, 7 que a su paso dejó más de 700 mm de precipitación en los tres días; un promedio de 250 mm diarios que cubrió casi todo el país; ya que se activó la ITCZ, subiendo hasta los 12° grados Norte.

Se destaca la aparición el 23 del mes, del Huracán Debbie que se movió a lo largo de la costa Sur de Cuba, causando efectos secundarios sobre Honduras, generando una vaguada en el Golfo de Honduras y Occidente del país.

La tercera semana de Agosto fue la más activa, después de pasar casi inadvertido el período canicular.

### **Mes de Septiembre**

En el propio período de formación de huracanes desfilaron desde Debbie hasta Joyce (7 huracanes o tormentas tropicales según el caso), causando efectos indirectos sobre Honduras. El huracán Keith corrió el mes de septiembre (día 30) y abarcó los cinco primeros días de octubre (Norte del cabo Gracias a Dios), los días 4, 5, 6 recibió influencia de un sistema de baja presión, que se estacionó en el Sur del país, producto del desprendimiento de celdas convectivas provenientes de la ITCZ.

Del 12 al 16 el país fue afectado por una vaguada, semi estacionaria sobre la porción Central y Occidental del país; esta vaguada se asoció con la tormenta tropical Gordon, que sumado al período del 18 al 22 afectado por una onda tropical, asociada con la depresión tropical No. 12, hacen de el mes de septiembre el mas activo del período.

## Mes de Octubre

En el período del 1 al 5 del mes, sufre el país los efectos del Huracán Keith de categoría 4 en la escala del 1 al 5 y que llegó a 400/600 millas al Norte del cabo Gracias a Dios. A él se asocia la ITCZ que sube hasta los 12° grados latitud Norte una onda tropical y una vaguada, todos estos fenómenos con gran cantidad de humedad, pero se queda por debajo del promedio histórico del mes de octubre.

La segunda y tercera semana se vieron

tempranamente invadidas por masas de aire de origen continental polar modificadas; manifestándose previamente, con una vaguada prefrontal que provoca lluvias y chubascos a lo largo del Litoral Atlántico. Posteriormente la masa densa de aire modificado provoca descenso en la temperatura ambiental y hace menos probable la presencia de fenómenos tropicales, pues imperan los extratropicales (frentes fríos, influencia de alta presión, cuñas etc.).

## METODOLOGÍA Y APLICACIÓN

### 1. Datos Pluviométricos

La calibración del modelo MIKE 11 cubre toda la cuenca del Valle de Sula; en 1999 el Programa de Pronóstico consideró 16 estaciones pluviométricas, para el año 2000 pudimos contar con 24 estaciones pluviométricas. Las lluvias se recibían todos los días a las 7 am, vía radio y teléfono. Estos

datos a tiempo real se obtuvieron desde el mes de Junio a Octubre del 2000; que son básicamente los meses lluviosos de la cuenca El Cajón. Cabe señalar que en muchas oportunidades, por motivo de transmisión, no fue posible obtener los 24 datos. El plano 1 muestra la ubicación de las 24 estaciones y el cuadro 1 el listado de estaciones.

### Cuadro 1

#### Listado de estaciones de lluvia

Código	Estación	Institución	Cuadro
U077	Gracias Lempira	E.N.E.E	Ulúa
U156	La Pimienta	E.N.E.E	Ulúa
U018	El Jaral	E.N.E.E	Ulúa
U122	Palmital	E.N.E.E	Ulúa
U200	Pueblo Nuevo	E.N.E.E	Ulúa
U105	Esquías	E.N.E.E	Ulúa
A016	Yorito	E.N.E.E	Aguán
U014	El Cajón	E.N.E.E	Ulúa
U083	Santa Rita	E.N.E.E	Ulúa
U085	Santa Elena	E.N.E.E	Ulúa
U087	San Jerónimo	E.N.E.E	Ulúa
U104	Vallecillo	E.N.E.E	Ulúa
U116	Marale	E.N.E.E	Ulúa
U142	El Níspero	E.N.E.E	Ulúa
U103	Sulaco	E.N.E.E	Ulúa
U106	San Ignacio	E.N.E.E	Ulúa
U117	Flores Lempira	E.N.E.E	Ulúa
U000	Las Lajas	E.N.E.E	Ulúa
H011	La Entrada	R. HIDRICOS	Chamelecón
H010	Quimistán	R. HIDRICOS	Chamelecón
U004	La Gloria	R. HIDRICOS	Ulúa
U024	Flores Comayagua	R. HIDRICOS	Ulúa
U081	Agua Caliente	R. HIDRICOS	Ulúa
H003	La Mesa	S.M.N	Chamelecón

## **2. Datos de niveles**

Por radio se contó con datos de niveles de agua, de las estaciones hidrométricas Chinda y Tablón. Estaciones que cubren la parte Oeste de la cuenca Ulúa y la cuenca del río Chamelecón. Datos que se tomarían en cuenta en caso de derrame, con posibles daños agua abajo de El Cajón.

## **3. Datos de pronóstico cuantitativo y cualitativo de la lluvia vía Internet**

Con la información del Servicio Meteorológico Nacional, la ENEE preparó día tras día los pronósticos cualitativos del comportamiento atmosférico del país y del área en estudio.

Se obtenían vía Internet, cada día por la mañana, los pronósticos cuantitativos de la lluvia en las próximas 24 horas; mediante el uso de cuatro modelos globales: AVN, MRF, NGM, ETA. todos de los Estados Unidos de América.

Antes de iniciar el período de pronóstico se realizó una validación de resultados y adaptación al área de estudio, de las diferentes respuestas de los modelos mencionados. En realidad, los resultados mostraron bastante variación entre ellas. Seleccionando para el año 2000, los resultados obtenidos del modelo AVN.

Para toda el área de estudio se consideró, cada día, una lluvia representativa, con 24 horas de anticipación.

## **4. Caudales Turbinados**

La División de Operación de Embalse de la ENEE, proporcionó los caudales turbinados por la Central Hidroeléctrica, cada día; tanto lo ocurrido como el proyectado, de acuerdo a sus planes de manejo y proyección.

## **5. Estado inicial del modelo MIKE 11**

Quince días antes de iniciar la etapa de pronóstico mismo se comenzó a correr el

modelo MIKE 11; a fin de reajustar las condiciones iniciales y actuales de todo el sistema hidrológico e hidráulico de la cuenca en estudio. Uno o dos días de anticipación no eran suficientes.

## **6. Corrida del Modelo MIKE 11**

Las series de lluvia de las 24 estaciones utilizadas, estaban actualizadas justo antes del 1° de Junio del 2000. Los datos que se iban recibiendo eran introducidos al modelo. Para que la corrida no se detuviera justo después de las 24 horas, se contó también con pronósticos cuantitativos de la lluvia para 48 y 72 horas, estas fueron introducidas también. Cada día las lluvias se iban actualizando.

Los resultados obtenidos de las corridas eran leídos directamente de los hidrogramas facilitados por el modelo y convertidos a volumen por día.

## **7. Aportes al Embalse El Cajón**

La División de Operación de Embalse de la ENEE, proporcionó los volúmenes diarios llegados al embalse El Cajón. Esta información es obtenida por un simple balance de agua en el embalse; conociendo los niveles y las curvas de Nivel-Área-Volumen. Se anota que esta curva es la misma desde que se inició a operar el embalse, que fue en 1981. La ENEE no dispone de una nueva curva.

## **8. Pronóstico de Volumen al Embalse El Cajón**

Los resultados obtenidos por el modelo eran analizados y discutidos cada mañana, antes de emitir el pronóstico. A las 9:30 am de cada día, se emitía el pronóstico.

Los valores de cada pronóstico eran comparados al día siguiente, con los aportes suministrados por la institución; el análisis de éstos, servía también como factor a tomar en cuenta en el día de pronóstico.

## RESULTADOS

Después de aplicar la metodología descrita se obtuvieron los resultados; que fueron comparados con los datos observados. Las Figuras del 3 y 4 presentan los resultados para la variable lluvia y las Figuras del 5 al 9

los volúmenes obtenidos. Todas estas figuras incluyen los resultados del mes de Junio a Octubre del 2000. Se hizo por mes, debido a que su presentación e interpretación es más fácil.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 1. Pronóstico de la Lluvia Diaria

Conocido es, que no es tarea fácil pronosticar cuantitativamente la variable lluvia para un área determinada; muchos factores participan en ella. Las imágenes de satélite vía Internet de los pronósticos cuantitativos globales de la lluvia, utilizada para los pronósticos hidrológicos de la cuenca El Cajón son proporcionadas por USA. Los modelos AVN, MRF, NGM, ETA, por lo general no contienen información de Centroamérica, mucho menos de la cuenca de El Cajón en Honduras; son simples extrapolaciones; ésto se demuestra, ya que durante la validación de los productos de dichos modelos, estos presentaron mucha diferencia, a tal grado que no se sabía cuál de ellos seleccionar como

representativos para el área en estudio.

El uso de los pronósticos diarios cualitativos, la lluvia a las 7 am y los resultados obtenidos de los pronósticos de lluvia y volumen, en verdad sirvieron de gran apoyo para tomar la decisión de la cantidad de lluvia a pronosticar. Análisis de la variabilidad espacial de la lluvia sobre el área en estudio, hubiera posiblemente ayudado a no considerar un solo valor de lluvia en toda la cuenca. Hay que recordar que la topografía accidentada es lo que caracteriza a la cuenca de El Cajón. Esta consideración posiblemente hubiera apoyado un poco más a los pronósticos hidrológicos.

### Cuadro 2

#### Resultados de las Pruebas de Estabilidad

##### a En el caso de la Media

Variable	N	V	t(v,2.5%)	t(v,97.5%)	Tc	Acepta / No Acepta
Lluvia	73	71	-2	2	-0.877	Acepta
Volumen	73	71	-2	2	-4.226	No se Acepta

##### b En el caso de la Varianza

Variable	N	V	t(v,2.5%)	t(v,97.5%)	Tc	Acepta / No Acepta
Lluvia	73	72	0.599	1.670	0.724	Acepta
Volumen	73	72	0.599	1.670	0.090	No se Acepta

El cuadro 2 muestra que la serie lluvia utilizada durante el programa de pronóstico pasa la prueba de estabilidad tanto para la media como la varianza de la misma.

El resumen de los resultados obtenidos que se muestra en el Cuadro 3, indica que la diferencia de los promedios en porcentaje con

respecto a la lluvia observada no son grandes mes a mes. Si se observa el total de la serie, la diferencia es apenas 1%. Esto parece bien acertado; pero si tomamos en cuenta el grado de relación mediante el coeficiente de correlación lineal, estos valores son bien bajos mes a mes. El total de la serie tiene un coeficiente de 0.447.

Cuadro 3

Resumen de los pronósticos cuantitativo de la lluvia. Cuenca El Cajón

Mes	Pronosticada	Observada	Diferencia %	Coef. Correl.
Junio	5.5	6.6	16.8	0.337
Julio	7.0	6.2	-14.2	0.106
Agosto	6.8	6.5	-3.7	0.465
Septiembre	10.8	10.9	0.7	0.469
Octubre	4.9	5.2	7.1	0.667
<b>TOTALES</b>	<b>7.0</b>	<b>7.1</b>	<b>1.0</b>	<b>0.458</b>

Totales en el cuadro anterior, significan el resultado tomando en consideración el conjunto de toda la información.

La diferencia del 1% por si sola, no dice nada; si no se observa, la distribución de la lluvia observada y pronosticada y el grado de relación que las une.

Si tomamos en cuenta los resultados obtenidos en el programa de pronóstico del año 1999, podemos ver bien claro que en el año 2000 los resultados obtenidos en los pronósticos de la lluvia con 24 horas de anticipación son mejores. Esto es debido a las mejoras realizadas y a la experiencia adquirida.

**2. Pronóstico de volúmenes**

La calidad de los resultados de pronósticos de volúmenes de agua que llega al embalse El Cajón, depende básicamente del pronóstico de la lluvia, de la calibración del Modelo MIKE

II a la cuenca en estudio y la representatividad de los caudales observados. En cuanto a la lluvia ya se discutió en el subcapítulo anterior; en lo referente a la calibración del modelo utilizado, podemos decir que fue calibrado durante el desarrollo del Proyecto Modelación Matemática para el Pronóstico Hidrológico a Tiempo Real y Control de Crecidas en Centroamérica, patrocinado por DANIDA por intermedio del Instituto Hidráulico Danés, llevado a cabo en los años 1993-1996. Esta calibración no ha sido analizada, para verificar su representatividad después de la ocurrencia del Huracán/Tormenta Tropical Mitch.

En lo concerniente a los caudales observados, es conveniente mencionar que las estaciones hidrométricas que se encontraban en las colas de los embalses fueron destruidas durante ese fenómeno meteorológico ya mencionado y en la actualidad se están reconstruyendo en sitios diferentes.

El Cuadro 2 muestra que la serie de caudales observados no matienen una estabilidad tanto en la media como en la varianza.

La cuenca en estudio tiene un área de 8640 km<sup>2</sup> y los dos ríos principales aportan cantidades importantes de agua; se ha observado en los caudales una variabilidad demasiado grande de un día a otro; es decir de pasar de caudales grandes a caudales muy pequeños, que ni siquiera se presentan en los períodos históricos más secos. Esta inconsistencia puede deberse a lo

señalado en el párrafo anterior.

Entonces, para este programa de pronóstico hidrológico se ha estado aplicando el método indirecto de balance de agua del embalse El Cajón; sobre ésto podemos decir, entre otros, que la mayor fuente de error sería la precisión del ajuste matemático de la curva nivel-volumen del embalse, la cual data desde la construcción de la cortina y no se ha realizado una batimetría para identificar y reajustar dicha curva después del paso del dicho fenómeno meteorológico, que se supone que provocó una mayor cantidad de sedimento que lo normal.

*El Cuadro 4 presenta un resumen de los resultados obtenidos.*

#### Cuadro 4

##### Resumen de los Pronósticos de Volumen. Embalse El Cajón

Mes	Pronosticado	Observado	Diferencia (%)	Coef. Correl.
Junio	11.842	10.437	-13.461	0.525
Julio	11.694	7.600	-53.857	0.525
Agosto	14.551	11.260	-29.226	0.712
Septiembre	40.051	29.401	-36.226	0.908
Octubre	32.599	16.550	-96.979	0.723
<b>TOTALES</b>	<b>22.659</b>	<b>15.572</b>	<b>-45.514</b>	<b>0.849</b>

La línea de Totales en el cuadro anterior representa los resultados tomando en cuenta todos los datos obtenidos.

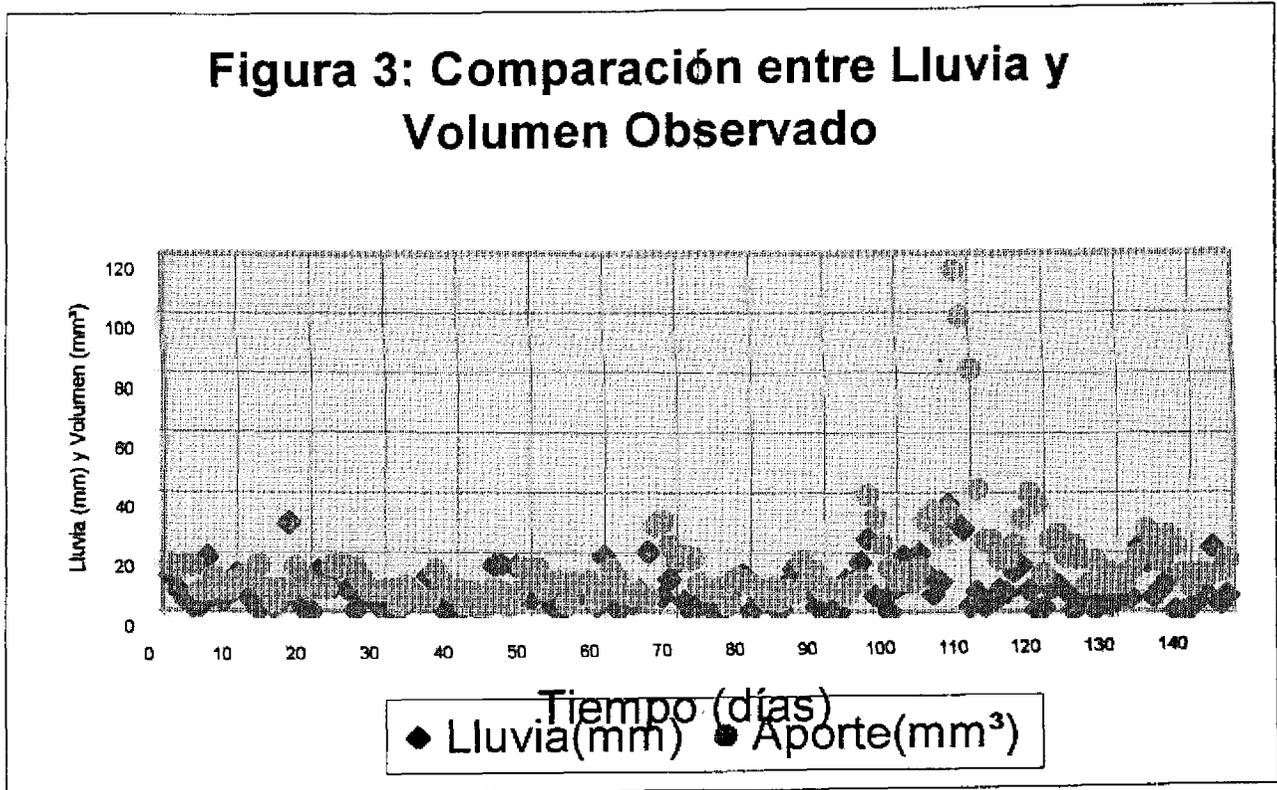
Los resultados presentados en el Cuadro 4 muestran que, para el mes de mayor cantidad de lluvia, Septiembre, los resultados de los pronósticos fueron mejores, tanto en el

promedio como en el coeficiente de correlación lineal.

Esto podría explicarse por una mejor regularidad de las magnitudes de la lluvia y como consecuencia, una mejor representación de las condiciones y distribuciones de humedad del suelo, entre otros efectos.

A fin de estudiar la relación entre la lluvia ocurrida y los caudales observados, se presentan las Figuras 3 y 4.

### Figura 3: Comparación entre Lluvia y Volumen Observado



### Figura 4: Doble Masa Entre Lluvia (mm) y Volumen (mm³)

