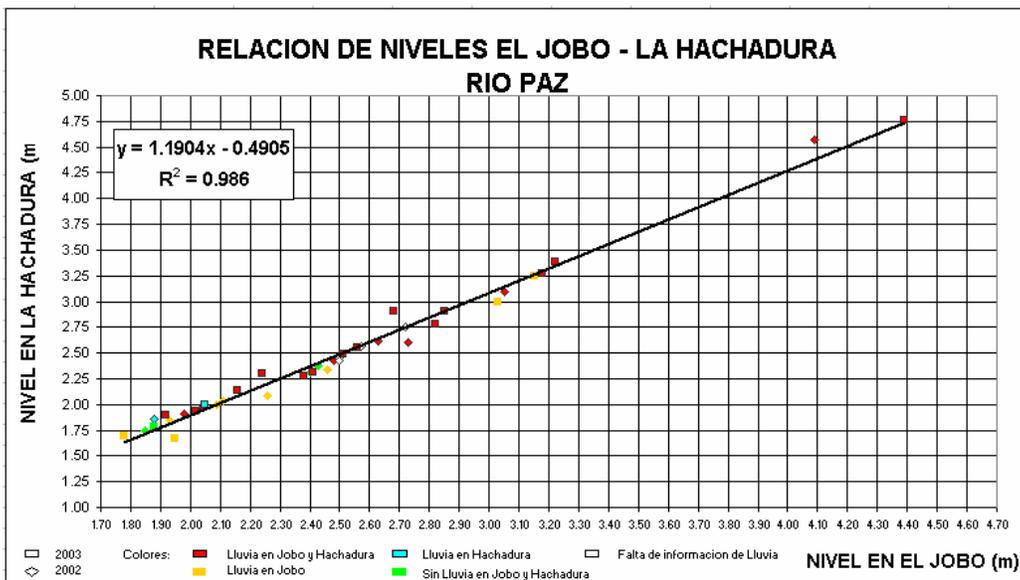


**Figura 1. Tiempos de Tránsito entre las estaciones El Jobo y La Hachadura.**



**Figura 2. Relación de niveles entre las estaciones El Jobo y La Hachadura.**

## 2. Validación de umbrales de alerta en las estaciones El Jobo y La Hachadura.

Con los registros de niveles en las estaciones El Jobo y La Hachadura de la época lluviosa del 2003, se validaron los umbrales de alerta en la estación La Hachadura y se actualizaron los

del Jobo, ya que los niveles máximos registrados este año de 4.76 y 4.39 metros respectivamente, no produjeron desbordamientos en la cuenca.

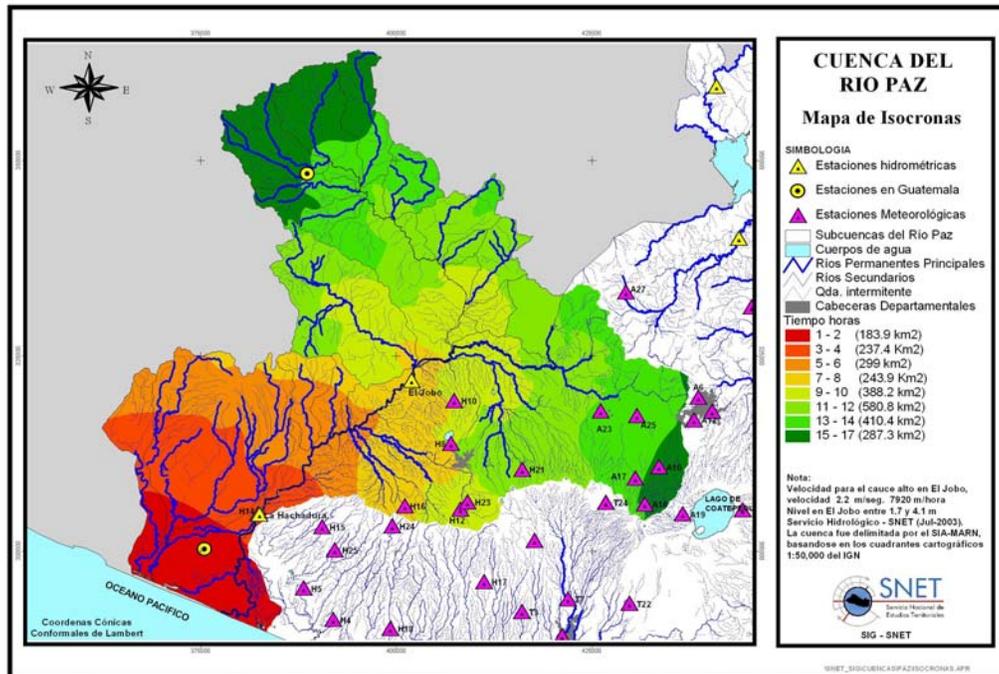
**3. Determinación de velocidad de crecida en la cuenca, curvas isócronas y tiempo de respuesta ante lluvias.**

A partir de los tiempos de tránsito entre El Jobo y La Hachadura, se calculó la velocidad de tránsito de la crecida, teniendo en cuenta la longitud 34.116 Km existente entre los dos puntos. De acuerdo a los resultados, se determinaron tres rangos de velocidad de crecida en la cuenca: baja, media y alta. En la tabla 1 se presentan los niveles en El Jobo, los tiempos de tránsito hasta La Hachadura y las velocidades para cada uno de estos rangos.

**Tabla 1. Velocidad media de crecida en Cuenca río Paz**

Nivel de Crecida	Nivel en el Jobo	Tiempo de Tránsito (horas)	Velocidad de crecida (m/s)
Baja	Menor de 2 metros	6:00	1.58
Media	Entre 2 y 3 metros	3:53	2.44
Alta	Mayor de 3 metros	2:43	3.48
Promedio	2.38 metros	4.19	2.20

A partir de la velocidad de 2.2 m/s, determinada como velocidad promedio en las crecidas registradas, se trazaron las curvas isócronas de la cuenca (figura 3), las cuales indican el tiempo de concentración desde cualquier punto de la cuenca hasta la desembocadura. De esta forma se puede observar que el tiempo de concentración máximo en la cuenca es de 17 horas.



### Figura 3. Curvas isócronas Cuenca río Paz.

Con base en el mapa de isócronas como punto inicial y verificado posteriormente con la distancia entre diferentes estaciones pluviométricas y la estación hidrométrica La Hachadura<sup>1</sup>, se determinó el tiempo de respuesta de la lluvia caída en la cuenca y el aumento de nivel del río en dicha estación, para diferentes velocidades de crecida determinadas de la tabla 1, los cuales se pueden observar en la tabla 2.

**Tabla 2. Tiempo de respuesta en horas en la estación Villerías con lluvia caída en diferentes estaciones pluviométricas de la cuenca.**

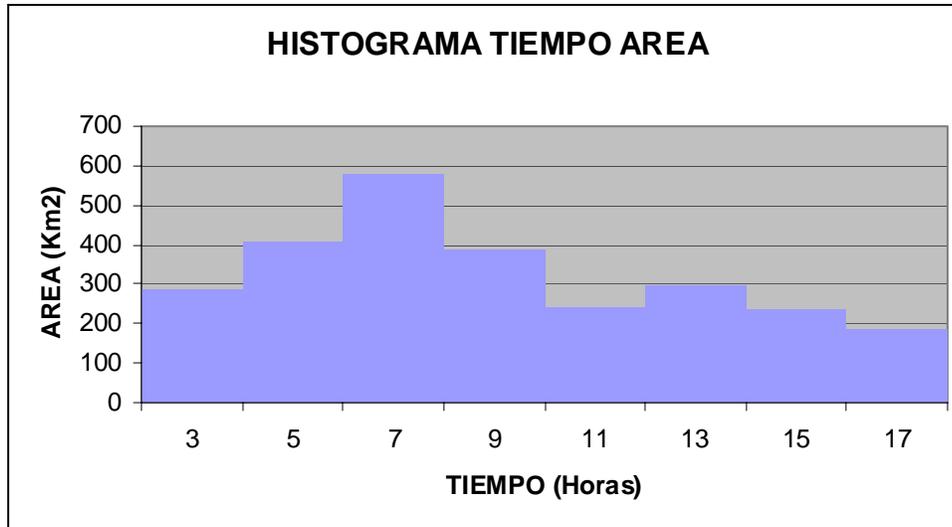
Estación de Lluvia	Velocidad de Crecida (m/s)				
	1	1.5	2.2	2.5	3.5
A 18	28	19	13	11	8
H 21	20	13	9	8	6
H 23	13	9	7	6	4
H 16	10	7	5	4	3

Por otro lado, a partir de las áreas entre curvas isócronas, se construyó el histograma tiempo-área de la cuenca, el cual puede ser considerado un indicativo de las forma media de los hidrogramas unitarios (HU) de la cuenca (ver tabla 3, figura 4).

**Tabla 3. Histograma Tiempo-Area de la Cuenca del río Paz.**

Tiempo (horas)	Area entre isócronas (Km2)
3	287.3
5	410.4
7	580.8
9	388.2
11	243.9
13	299
15	237.4
17	183.9

<sup>1</sup> Distancia desde estación H16 a la Hachadura = 36.27 Km  
Distancia desde estación H23 a la Hachadura = 45.76 Km  
Distancia desde estación A18 a la Hachadura = 100.03 Km  
Fuente: Area de Informática SNET.



**Figura 4 Histograma Tiempo Area de la Cuenca del río Paz**

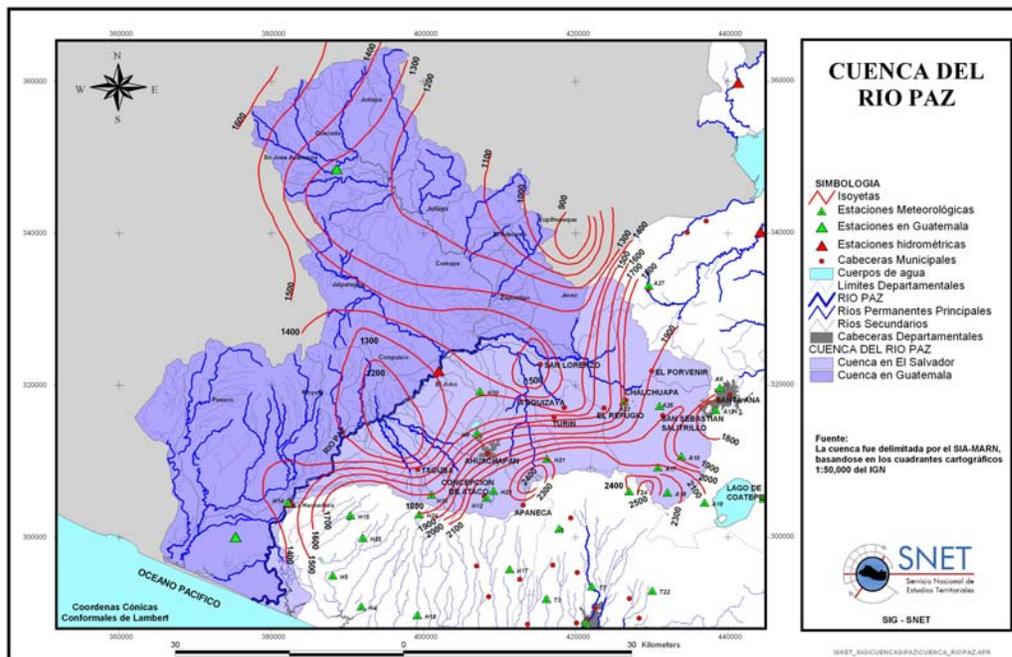
#### **4. Análisis de volúmenes de escurrimiento hasta las estaciones hidrométricas El Jobo y La Hachadura de eventos ocurridos en el 2002 y 2003.**

Con el fin de determinar los sitios de mayor aporte de lluvia en la cuenca, se analizaron los volúmenes de escurrimiento en las dos estaciones hidrométricas para cuatro eventos aleatorios ocurridos en el 2002 y 2003. Los eventos analizados se presentan en la tabla 4, en la cual se describen los caudales máximos presentados en las dos estaciones para las crecientes analizadas, los volúmenes de escurrimiento equivalentes para dichos eventos y el porcentaje de volumen en la Hachadura respecto al volumen en El Jobo.

De los cuatro eventos analizados, puede observarse que en tres de ellos el volumen en La Hachadura es considerablemente mayor respecto al del Jobo (en el rango de 73% a 158% mayor), por lo que se deduce que en la parte media de la cuenca existe un gran aporte de escurrimiento. Dado lo anterior, se analizaron las lluvias registradas en la cuenca para los días que se presentaron las crecientes y los días precedentes a las mismas, observando que las estaciones donde se presentaron las lluvias más intensas fueron las estaciones A-18, A-17, H-16, H-21 y H-23, mientras que la estación Quesada ubicada en la región Noroeste de la cuenca, en Guatemala, no presenta valores altos de lluvia para estos eventos. Lo anterior es confirmado con el mapa de isoyetas anuales de la cuenca (ver figura 5) donde las mayores precipitaciones se presentan en la parte media de la cuenca en El Salvador (Apaneca y Concepción de Ataco) y en la parte alta en el sector Noreste. En estos sitios existen estaciones pluviométricas las cuales no son telemétricas, por lo que se sugiere que para fortalecer el SAT de la cuenca, las estaciones A-18 (Finca Los Andes), H-21 (Beneficio Buena Vista), H-23 (Beneficio El Molino) y H-16 (Cantón El Nispero) sean transformadas en telemétricas, o en su defecto, que tengan radio para transmisión horaria de información en eventos de lluvia. Igualmente se propone que en la parte media de la cuenca en Guatemala sea instalada una estación telemétrica de lluvia.

**Tabla 4. Volúmenes de Escorrentamiento en Cuenca del río Paz**

EVENTO	CAUDAL MAXIMO (m3/s)		VOLUMEN (m3)		% de Volumen de La Hachadura por encima del Jobo
	EL JOBO	LA HACHADURA	EL JOBO	LA HACHADURA	
31 AGOSTO - 1 SEPTIEMBRE 2002	367.05	637.96	6360665.30	11680095.46	83.63
23 SEPTIEMBRE 2002	349.31	739.96	22165869.47	57164475.06	157.89
15 OCTUBRE 2002	20.82	24.11	595843.27	692750.96	16.26
31 MAYO - 1 JUNIO 2003	22.67	27.01	391604.08	678242.24	73.20



**Figura 5. Mapa de Isoyetas Anuales Cuenca río Paz.**

En el Anexo 1 se presenta el análisis de volúmenes de escurrimiento, así como el registro de lluvias en la cuenca para los eventos mencionados.

### 5. Análisis de eventos históricos

Se analizaron las crecientes del 4 de septiembre de 1971, 20 de septiembre de 1974 (Huracán Fifi) y la creciente del 23 de septiembre del 2002. Debido a que no se cuenta con datos pluviográficos en las estaciones de la cuenca, que permitan relacionar los eventos de lluvia con los incrementos de nivel en la estación hidrométrica La Hachadura, se han realizado algunas hipótesis de las lluvias que pudieron generar el incremento de nivel. La información de lluvia registrada para dichos eventos se puede observar en el Anexo 2.

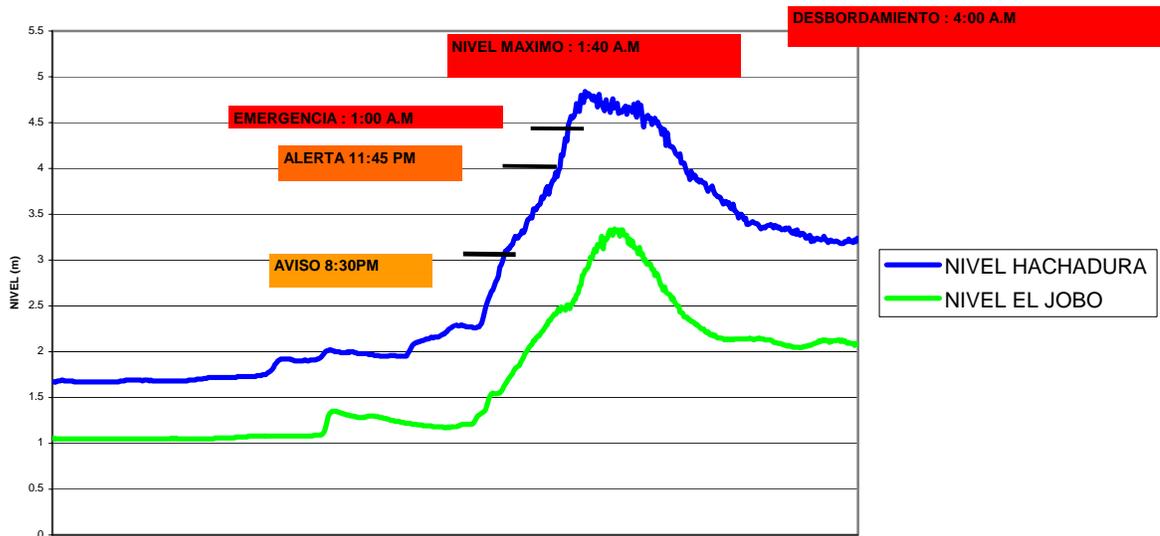
**Creciente del 4 de Septiembre de 1971:** desde las 7 am del día 3 hasta las 7 am del día 4 (lluvia registrada el día 4 en la tabla), se presentó una lluvia fuerte en la zona de Concepción de Ataco y Tacuba (estaciones H12 y H16) con promedio entre las dos estaciones de 68 mm. El primer pico del Hidrograma (15.00 horas) que presenta un incremento de nivel de 1.16 metros, puede deberse a la lluvia en esas estaciones, en el caso de que la lluvia se hubiera presentado en horas de la madrugada del día 4, ya que el tiempo de respuesta para la estación H16 puede llegar a ser de 10 horas. El segundo pico el cual presenta un incremento de nivel de 0.87 metros, puede deberse a la lluvia de las estaciones A17 y A10 de 24 mm, que por el tiempo de respuesta (máximo 28 horas) pudo haberse unido con la lluvia de 41.4 mm de la estación H 14 registrada entre las 7 am del día 4 y 7 am del día 5.

**Creciente del 20 de Septiembre de 1974:** para el día 19 de septiembre se presentó un incremento leve de nivel de 0.54 metros el cual posiblemente se debió a la lluvia de 63 mm caída en la estación H-21 entre los días 18 y 19. Para el día 20 se presentan dos picos en el Hidrograma. El primero con un incremento de nivel de 1.59, el cual por los tiempos de respuesta, se pudo deber a las lluvias de 96 mm, 237 mm y 95.4 registradas en H-12, H-16 y H-14 respectivamente, entre los días 19 y 20 de septiembre. Posteriormente se presenta otro pico con incremento de nivel de 0.42 metros el cual se pudo deber a la unión de la lluvia caída en la parte alta y media de la cuenca.

**Creciente del 23 de Septiembre de 2002:** Los registros de lluvia del día 22 (7 am del 21 a 7 am del 22) indican que ya se presentaban lluvias altas en la cuenca de 50 mm en H16, 33 mm en H23 y 27 mm en H8. Para el día 23 (7 am del día 22 a 7 am del día 23) se presentó una lluvia generalizada en la cuenca con máximos de 130 mm en A17, 109 mm en H8 y 104 mm en H23. La velocidad alta que pudo generar estas lluvias hizo que se uniera con la lluvia registrada en las otras partes de la cuenca, lo que originó el pico principal del Hidrograma.

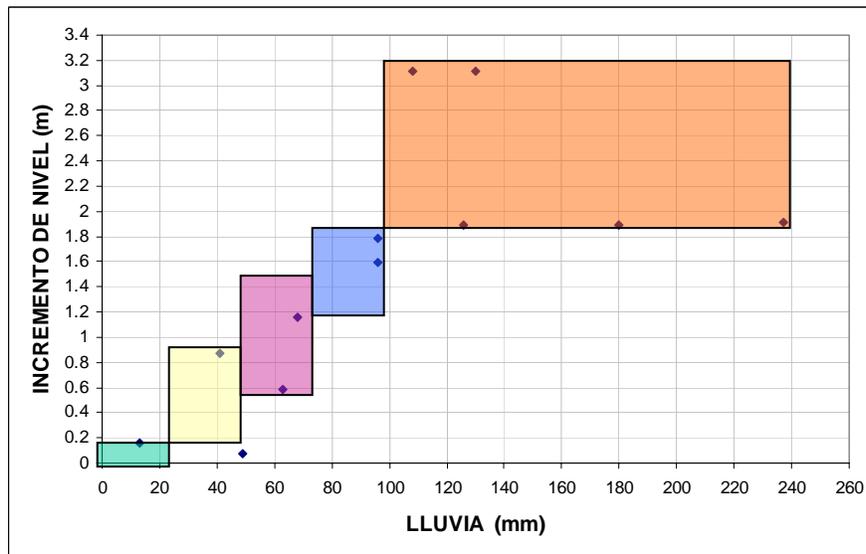
Para esta fecha ya se contaba con información de tiempo de tránsito, relación de niveles y umbrales de alerta; sin embargo, las graficas de relación de niveles y tiempos de tránsito no fueron aplicables ya que gran parte de la creciete se originó por la lluvia caída en la parte media de la cuenca la cual aunque estaba lloviendo aguas arriba del Jobo y había un incremento de nivel en esta estación, no reflejaba lo que pasaba en la parte media de la cuenca. Es importante destacar que aunque no fue aplicable la relación de niveles y tiempos de tránsito, si se detectó con anticipación que se iba a producir un desbordamiento en la zona baja, gracias a los umbrales de alerta en la estación La Hachadura. De acuerdo a estos umbrales, a las 8:30 pm del día 22 se alcanzó el nivel de aviso, a las 11:45 pm el nivel de alerta, el nivel de emergencia a la 1 a.m (lo que indicaba que era inminente un desbordamiento aguas abajo); El nivel máximo de la creciete se presentó a la 1:40 am del día 23 y el desbordamiento según información de la gente de la zona se produjo a las 4 a.m. Lo anterior indica que existió un tiempo de 2:20 horas desde el momento en que se presentó el nivel máximo al momento en que se presentó el desbordamiento. Lo anterior se confirmó asumiendo una velocidad de crecida de 2.2 m/s y con la distancia que hay entre la Hachadura y Rancho San Marcos de 13.30 Km, lo que da un tiempo de 1:40 horas. Desde el momento en que se superó el umbral de emergencia en La Hachadura hasta el desbordamiento pasaron 3 horas. En la figura 6 se presenta las graficas de los niveles registrados en las dos estaciones así como las horas en las que se superaron los umbrales de alerta.

### CRECIENTE DEL 23 DE SEPTIEMBRE DE 2002



**Figura 6. Niveles registrados en El Jobo y Hachadura y horas en que se superaron umbrales de alerta en creciente de 23 de septiembre de 2002.**

Como resultado de las hipótesis de las lluvias que pudieron originar las crecientes, se presenta la Figura 7, donde se relacionan las posibles cantidades de lluvia con el incremento de nivel en La Hachadura (m).



**Figura 7. Niveles registrados en El Jobo y Hachadura y horas en que se superaron umbrales de alerta en creciente de 23 de septiembre de 2002.**

## 6. Hidrograma Unitarios de la Cuenca.

Se construyeron Hidrogramas Unitarios de la cuenca para las crecientes del 4 de septiembre de 1971, 20 de septiembre de 1974 (Huracán Fifi) y la creciente del 23 de septiembre del 2002, las cuales presentaron caudales máximos de 970, 2331.21 y 740 m<sup>3</sup>/s respectivamente, con el objeto de realizar la modelación hidráulica para el mapa de inundación de la cuenca y la modelación hidrológica a través de un modelo lluvia escorrentía. En el Anexo 2 se presentan los hidrogramas unitarios mencionados, así como la memoria de cálculo. En la figura 7 se pueden observar los hidrogramas unitarios para cada uno de los eventos mencionados junto con el Histograma Tiempo – Area de la cuenca. Se observa como la forma del histograma coincide con la forma del Hidrograma unitario de la creciente del 23 de septiembre del 2003, que fue un evento generalizado de lluvia.

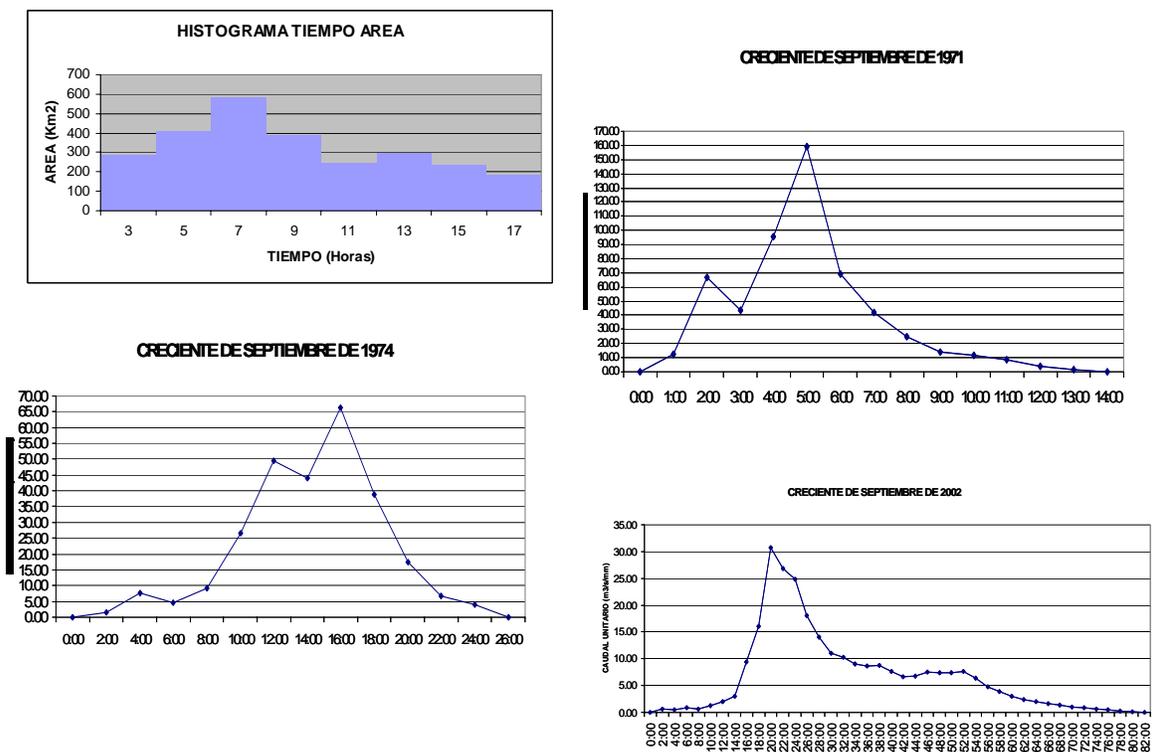


Figura 8. Hidrogramas Unitarios e Histograma Tiempo Area en cuenca del Río Paz.