

En la tabla 4.1 se consigna la ubicación de los sitios donde se instalaron las estaciones de medición de lluvia, su nombre y el código de identificación

En marzo de 2000 la Dirección Estatal de Protección Civil de Baja California cambió su domicilio, por lo que el puesto central de registro (junto con la estación No.1 PC-01) tuvo que ser reinstalado en noviembre de 2000. El nuevo domicilio tiene las coordenadas  $32^{\circ}30.574' N$  y  $117^{\circ}03.225' W$

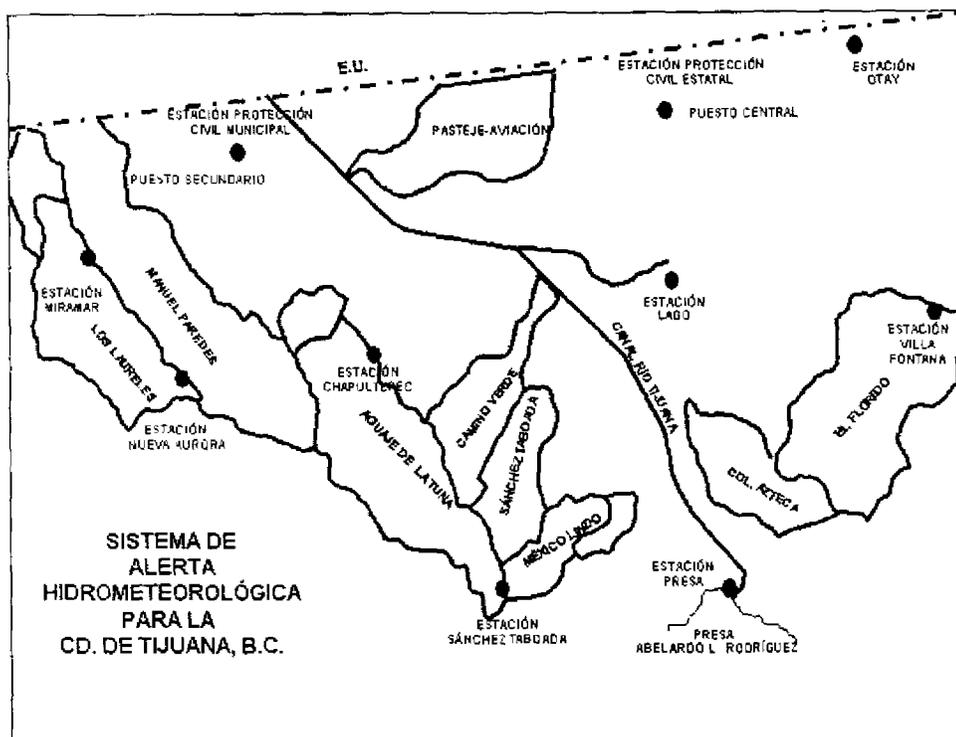


Figura 4.26 Ubicación de pluviómetros

#### 4.2.1.2 Selección de los sitios para medir niveles temporalmente

En la aplicación de los modelos matemáticos lluvia - escurrimiento se consideró un valor del coeficiente de escurrimiento. Este valor es modificado de acuerdo con las condiciones de humedad del suelo y la lluvia que se esté presentando. Sin embargo, para precisar su valor es conveniente medir el gasto en algunos sitios y asociarlo con la lluvia que se presentó. También las mediciones son útiles para revisar algunos de los hidrogramas unitarios instantáneos. Estas maniobras implican la medición de niveles de agua durante y después de cada lluvia y a partir de ello estimar los gastos de los escurrimientos que provocó.

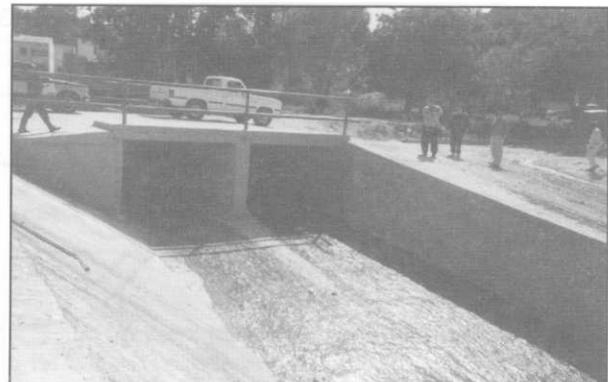
En el cauce del arroyo "Aguaje de la Tuna" se escogieron dos sitios para medir los tirantes del agua, el primero en el canal de llamada del tanque desarenador #1 "Hielera Barrón" (figura 4.27), donde se aprovechará la sección de control que forma la caída libre que hay entre el canal y el tanque para evaluar la magnitud de sus corrientes de agua. El segundo sitio se ubica en el canal de llamada del tanque desarenador #3 (figura 4.28), también en este sitio se aprovecha una sección de control. Por tal motivo la cuenca de este arroyo es analizada en su totalidad (No. 3) y en su parte alta (No. 4), como se muestra en la tabla 4.2

En el arroyo "Sánchez Taboada", se escogió una sección que se ubica a la entrada del único tanque desarenador en esta corriente (figura 4.29), ésta también es una sección de control, debido al cambio de pendiente en la plantilla del cauce

Otro de los arroyos importante es el arroyo "El Florido", en el cual se escogió una sección que se ubica en el canal de llamada del tanque desarenador de esta corriente (figura 4.30). Al igual que las anteriores secciones. ésta también es una sección de control, puesto que es una caída, del canal al tanque desarenador.



**Figura 4.27 Canal de llamada del desarenador #1 en el cauce del arroyo "Aguaje de la Tuna"**



**Figura 4.28 Canal de llamada del desarenador #1 en el cauce del arroyo "Aguaje de la Tuna"**



**Figura 4.29 Entrada al canal desarenador del arroyo "Sánchez Taboada"**



**Figura 4.30 Canal de llamada del desarenador en el cauce del arroyo "El Florido"**

En los sitios antes descritos se instalará temporalmente una escala que será vigilada durante las lluvias que lleguen a ocurrir en la ciudad; la persona encargada llevará una bitácora en la cual indicará el día, la hora y la lectura de la escala. Con los datos anteriores se estimarán los gastos que pasen por la sección y se compararán con los gastos estimados por el procesamiento hidrológico del sistema. Mediante dicha comparación se podrá calibrar el modelo lluvia- escurrimiento.

#### **4.2.1.3 Determinación de los escurrimientos en las cuencas**

Los flujos de agua que provoca la precipitación se estiman con un modelo lluvia-escurrimiento basado en hidrogramas unitarios instantáneos.

Para el caso particular de Tijuana, Baja California, no se contó con datos de lluvia y los escurrimientos que genera, por lo que se obtuvieron hidrogramas unitarios geomorfológicos o hidrogramas unitarios sintéticos. Con ellos y la lluvia medida en las estaciones pluviométricas remotas se encuentra el escurrimiento que se producirá cierto tiempo después en los cauces de los arroyos, para poder comparar sus magnitudes con respecto a los valores (umbrales de gasto) que pueden producir desbordamientos de los arroyos.

**4.2.1.4 Aplicación del hidrograma unitario instantáneo geomorfológico**

Para definir el orden de las redes de drenaje de las cuencas en estudio de acuerdo con Horton-Strahler y aplicar las leyes de Horton (Eslava, Fuentes, 2002) para obtener sus parámetros geomorfológicos, se utilizaron planos a escala 1:100,000. En estos planos se identificó y se trazó el parteaguas de las cuencas, así como todas las corrientes apreciables. Posteriormente se determinaron la longitud y el área tributaria de todas ellas.

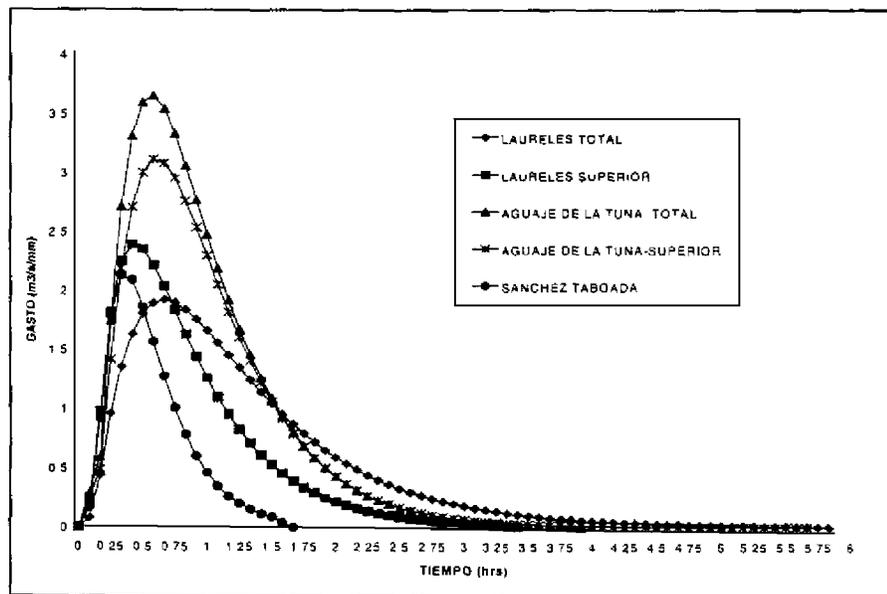
En la tabla 4.3 se muestran los valores de los parámetros empleados en el cálculo de los hidrogramas unitarios geomorfológicos.

Cabe mencionar que para obtener el hidrograma de la cuenca superior del arroyo "Los Laureles" se dividió ésta en dos subcuencas y se sumaron los hidrogramas unitarios de estas subcuencas.

**Tabla 4.3 Parámetros para el cálculo de los hidrogramas unitarios geomorfológicos**

Cuenca	Orden	$R_B$	$R_L$	$R_A$
Los Laureles (superior)				
Subcuenca 1	3	4.47	2.71	5.82
Subcuenca 2	4	3.60	2.26	4.70
Los Laureles (total)	4	4.20	2.52	5.43
Aguaje de la Tuna (superior)	4	4.07	1.87	4.99
Aguaje de la Tuna (total)	4	4.27	2.07	5.19
Sánchez Taboada	3	4.12	1.89	5.20

Con los parámetros anteriores se obtuvieron los hidrogramas unitarios para cada cuenca para una duración de la lluvia en exceso de 5 minutos. Dichos hidrogramas se presentan en la figura 4.31



**Figura 4.31 Hidrogramas Unitarios Instantáneos Geomorfológicos**

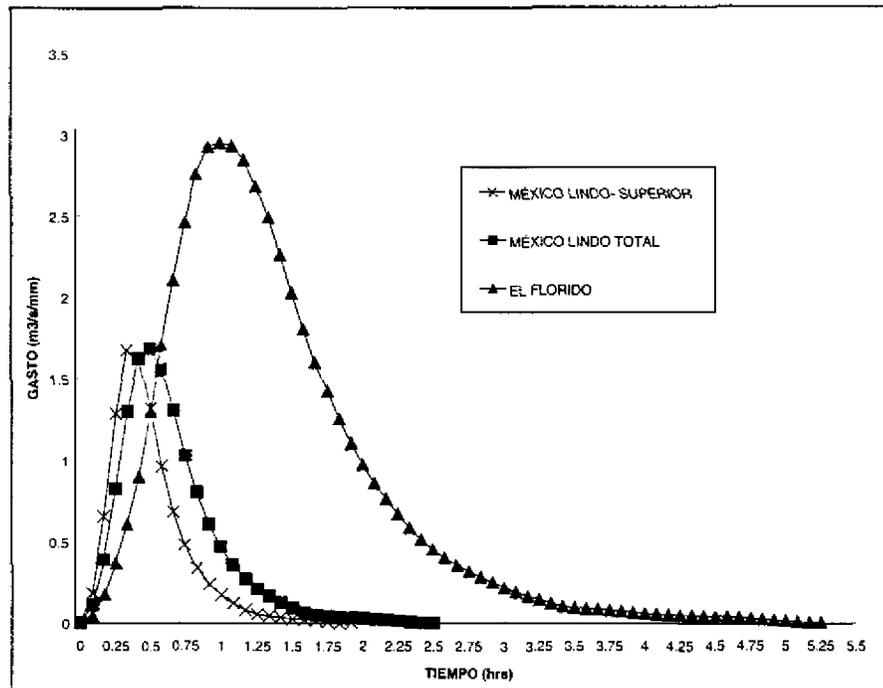
#### 4.2.1.5 Aplicación del hidrograma unitario adimensional

Para definir los hidrogramas unitarios adimensionales fue necesario obtener algunas de las características fisiográficas de las cuencas en estudio. Por lo que en un plano a escala 1:100,000 se identificó y se trazó el parteaguas de las cuencas y se obtuvieron las características fisiográficas que se muestran en la tabla 4.4.

Con las características de las cuencas y la duración de la lluvia en exceso de 5 minutos, se calcularon los hidrogramas unitarios de algunas cuencas donde no era aplicable el hidrograma unitario geomorfológico; tales hidrogramas se muestran en la figura 4.32.

**Tabla 4.4 Características fisiográficas de las cuencas**

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Cauce principal	
		Pendiente	Longitud (m)
México Lindo - Total	3.985	0.049844	4,555.00
México Lindo - Superior	3.007	0.062937	3,255.00
El Florido	14.737	0.017255	8,110.00



**Figura 4.32 Hidrogramas Unitarios Instantáneos (basados en el hidrograma adimensional)**

#### 4.2.1.6 Cálculo del escurrimiento

Para calcular el escurrimiento que produce la lluvia en cada una de las cuencas en estudio a partir de los datos de una tormenta, es necesario determinar su precipitación media.

La precipitación media se obtiene a partir de las láminas de lluvia acumulada en 10 minutos de aquellas estaciones cercanas o dentro de la cuenca. Para ello se aplicó el método de Thiessen. Este procedimiento consiste en obtener un promedio ponderado de las alturas de precipitación media, donde cada "factor de peso" es igual al cociente entre el área dominada (con base en cercanía de un punto la cuenca a

cada uno de los pluviómetros) por la estación pluviométrica y el área total de la cuenca. En este sistema de alerta se determinaron varias tablas con valores de estos factores para considerar que la información de una o más estaciones pluviométricas no sean recibidas en el puesto central.

Con los factores de peso para cada estación y los datos de lluvia de éstas se forman los hietogramas de lluvias medias de cada cuenca.

Con la altura media de cada cuenca se obtiene el hidrograma del escurrimiento que produce y se agregan los gastos calculados en los lapsos de 10 minutos anteriores.

Como la información de la precipitación en las estación es enviada a cada diez minutos se pueden calcular los escurrimientos en el tiempo actual y en los tiempos posteriores que considera su hidrograma unitario instantáneo.

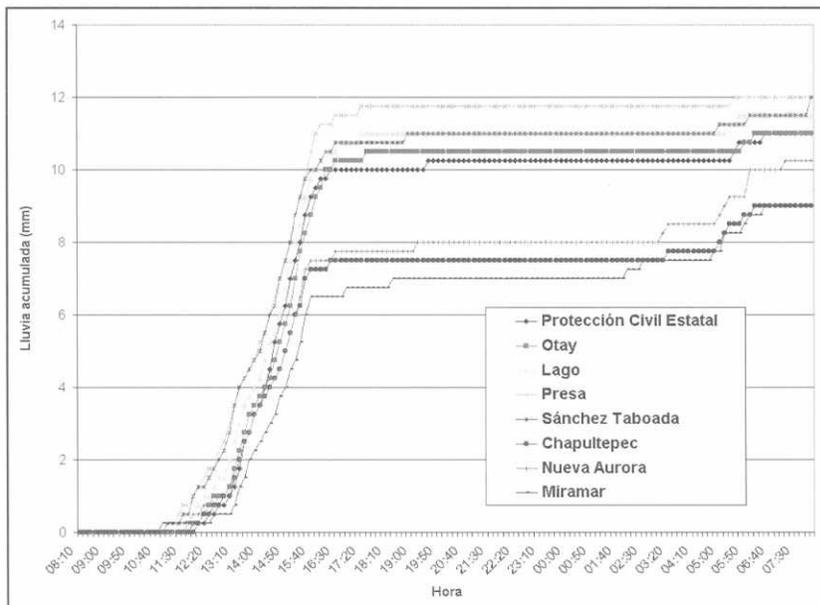
Este subsistema considera que la altura media de precipitación puede obtenerse con adecuada precisión aún en el caso que no se reciba en el puesto central la información de cuatro estaciones. En caso de que en cualquiera de los siguientes 3 intervalos de tiempo de 10 minutos sí se reciba la información, se corregirían los valores calculados de escurrimiento.

Cuando fallen simultáneamente más de cuatro estaciones se realiza una estimación de la lluvia media menos exacta, pero no se suspende el cálculo de los flujos de agua.

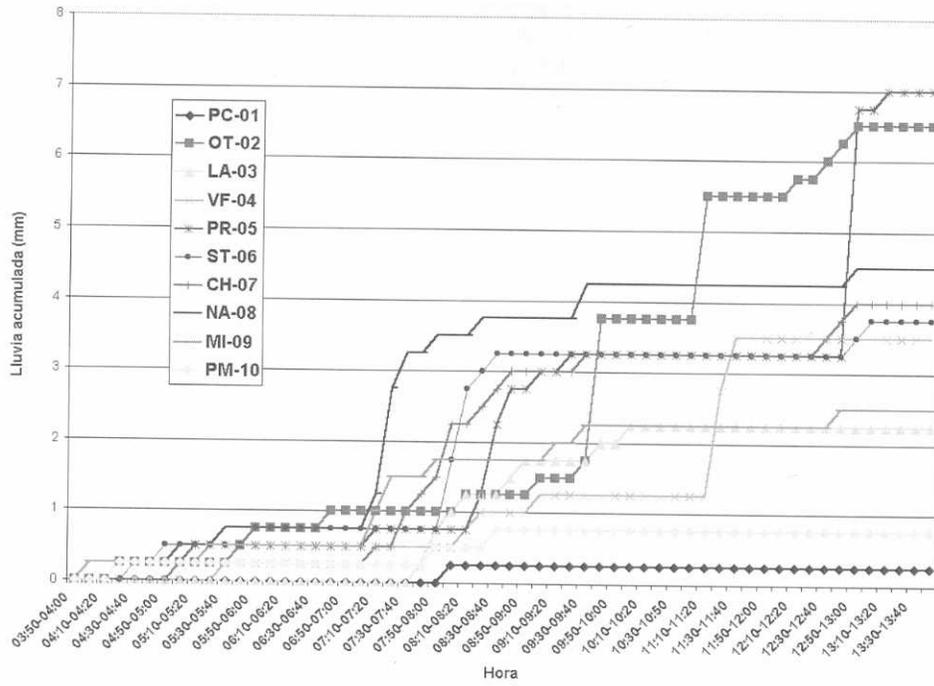
### 4.3 Resultados

El Sistema de Alerta Hidrometeorológica entró en operación, en su primera fase, en febrero de 1999. Con este sistema se han registrado lluvias importantes en durante los dos años y medio que ha estado funcionando.

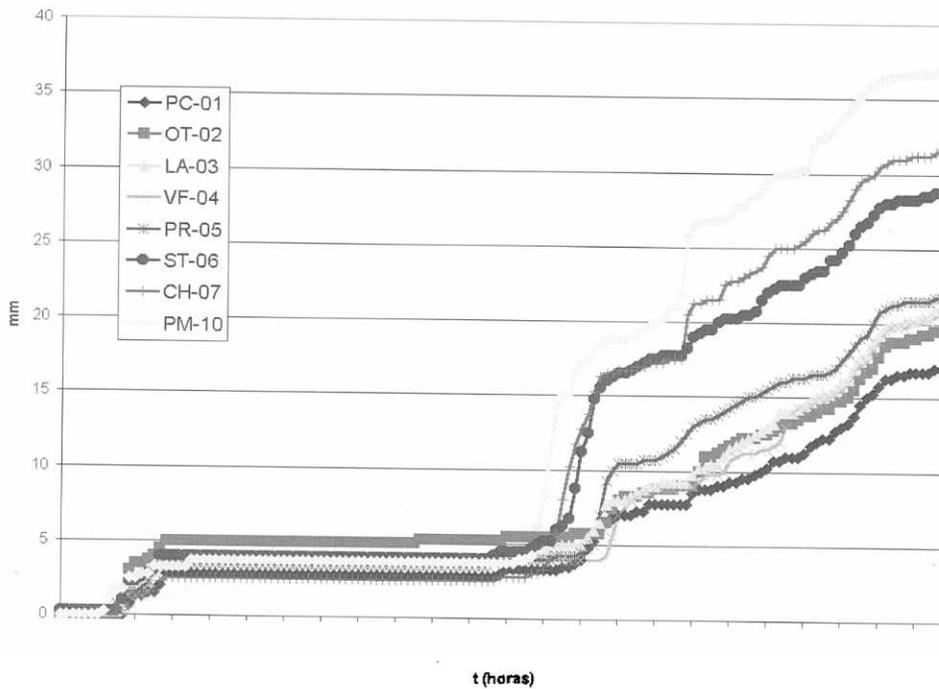
Los pluviómetros se instalaron en lugares convenientes para medir la precipitación media en cada una de las 12 subcuencas. Después, mediante un modelo lluvia – escurrimiento se estiman los escurrimientos de cada subcuenca; previamente se calcula la precipitación media en la subcuenca a partir de las precipitaciones puntuales de las estaciones. De esta manera el programa de la computadora de Hidráulica registra diariamente ambas variables en un archivo. A continuación se muestran algunos ejemplos de lluvias registradas por el sistema y los escurrimientos asociados a ellas



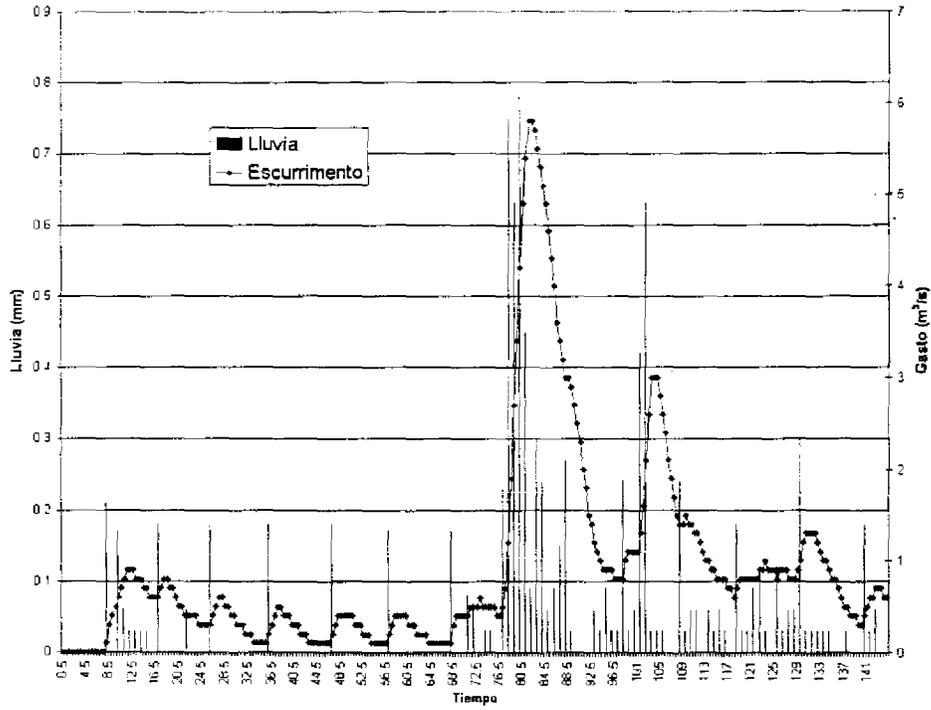
**Figura 4.33 Lluvia registrada los días 4 y 5 de febrero de 1999**



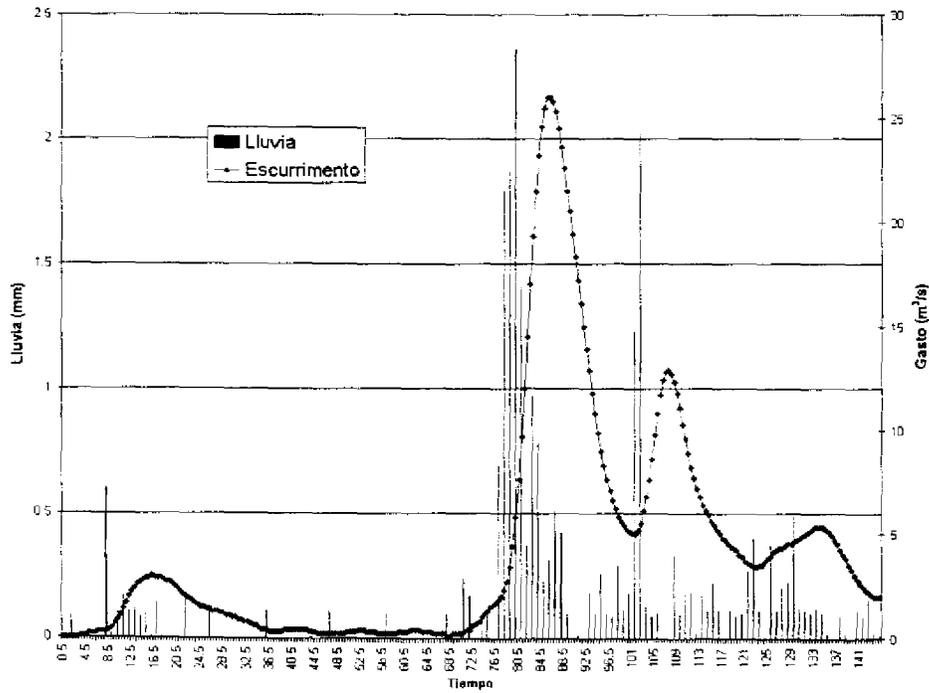
**Figura 4.34 Lluvia registrada el día 10 de diciembre de 1999**



**Figura 4.35 Lluvia registrada el día 21 de febrero del 2000**



**Figura 4.36 Lluvia y escurrimiento registrados el día 21 de febrero del 2000 en la subcuenca Los Laureles (parte superior)**



**Figura 4.37 Lluvia y escurrimiento registrados el día 21 de febrero del 2000 en la subcuenca Manuel Paredes**