

3.2.1.1 Selección de los sitios para medir lluvia

Se determinó que para las cuencas consideradas en la primera etapa del estudio era necesario instalar cinco pluviómetros para conocer la precipitación en distintos sitios.

Los cinco pluviómetros no están muy alejados entre sí para tener redundancia en algunas áreas y poder prever el caso de falla de algunos de ellos. Cabe mencionar que en Acapulco se pueden presentar ciclones tropicales con vientos que llegan a alcanzar los 200 km/h y que son capaces de derribar palmeras y algunas estructuras importantes.

En los cálculos que realiza el subsistema de medición y procesamiento hidrológico se tiene contemplado la posible falla en la transmisión de la información de algunos pluviómetros durante algunos lapsos y la subsiguiente recuperación de datos a través del subsistema de telemetría.

La selección de los sitios para la instalación de los pluviómetros se realizó procurando tener una configuración uniforme, es decir, que cada uno de los pluviómetros tuviera un área de cobertura casi igual. Se determinaron sus coordenadas en el plano y se procedió a una visita en el campo para su ubicación definitiva.

Se tomó en cuenta que los sitios tuvieran buena comunicación vía radio con el puesto central y hubiese protección contra el vandalismo, por lo que se trató de ubicarlos en edificios públicos, en el caso de Acapulco se localizaron en escuelas, cerca de las coordenadas antes determinadas. En algunos casos no fue posible encontrar tal infraestructura, y se construyeron casetas.

En la figura 3.19 se muestra la ubicación de los cinco pluviómetros de la red de medición y las subcuencas de la bahía de Acapulco que presentaron mayores daños por inundación y flujo de agua con piedras, arena y escombros, durante la ocurrencia del huracán Pauline: Juan Álvarez, Palma Sola - Camarón, La Garita, Magallanes y Costa Azul, las cuales son cubiertas por las áreas de influencia de los pluviómetros.

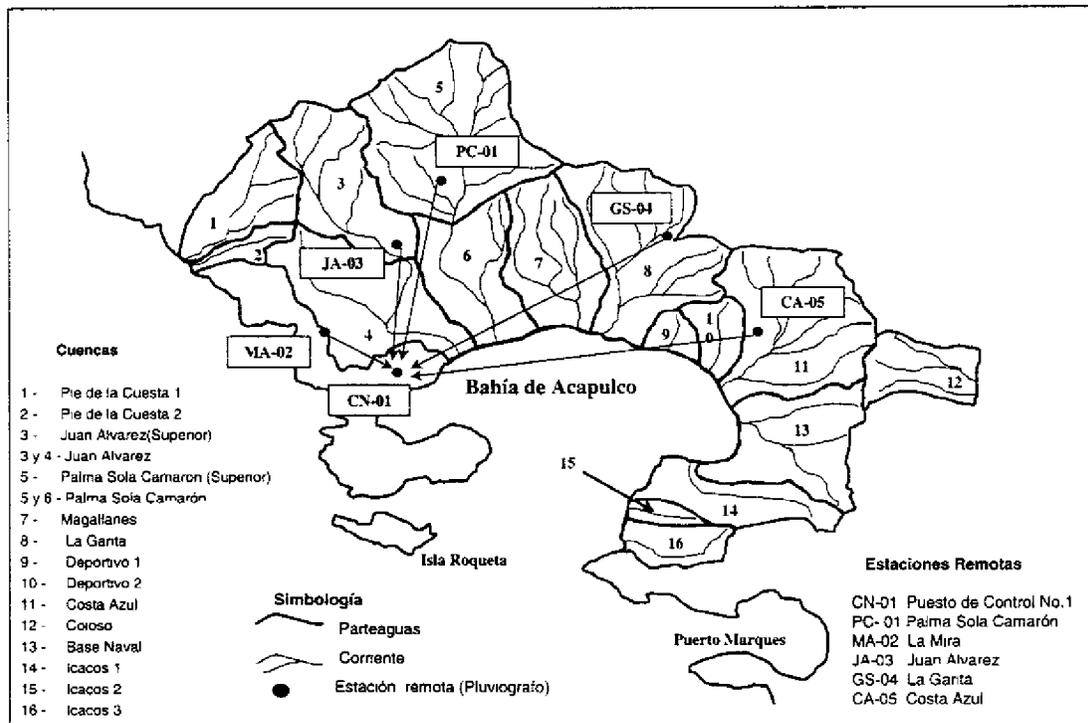


Figura 3.19 Ubicación de pluviómetros (primera etapa)

En la segunda etapa, considerando los planteamientos antes mencionados, se instalaron 10 pluviómetros más; cuatro dentro del anfiteatro, dos en la zona de "Pie de la Cuesta", una en la zona de "El Coloso", dos en la zona de "El Renacimiento" y uno en el observatorio meteorológico de CNA que se encuentra a un costado del aeropuerto internacional de Acapulco; este último pluviómetro tiene como objetivo comparar sus registros contra los del observatorio para correlacionar sus mediciones. Cabe mencionar que por las características fisiográficas las precipitaciones que ocurren en la zona del aeropuerto son diferentes a las que se presentan dentro del anfiteatro del puerto de Acapulco.

En la figura 3.20 se muestra la ubicación final de los 15 pluviómetros de la red de medición. En la tabla 3.1 se consigna la ubicación de los sitios donde se instalaron las estaciones de medición de lluvia, su nombre y el código de identificación; los cinco primeros de la tabla se instalaron en la primera etapa junto con el PCR-1, mientras que en la segunda etapa se instalaron los pluviómetros restantes y el segundo puesto central.

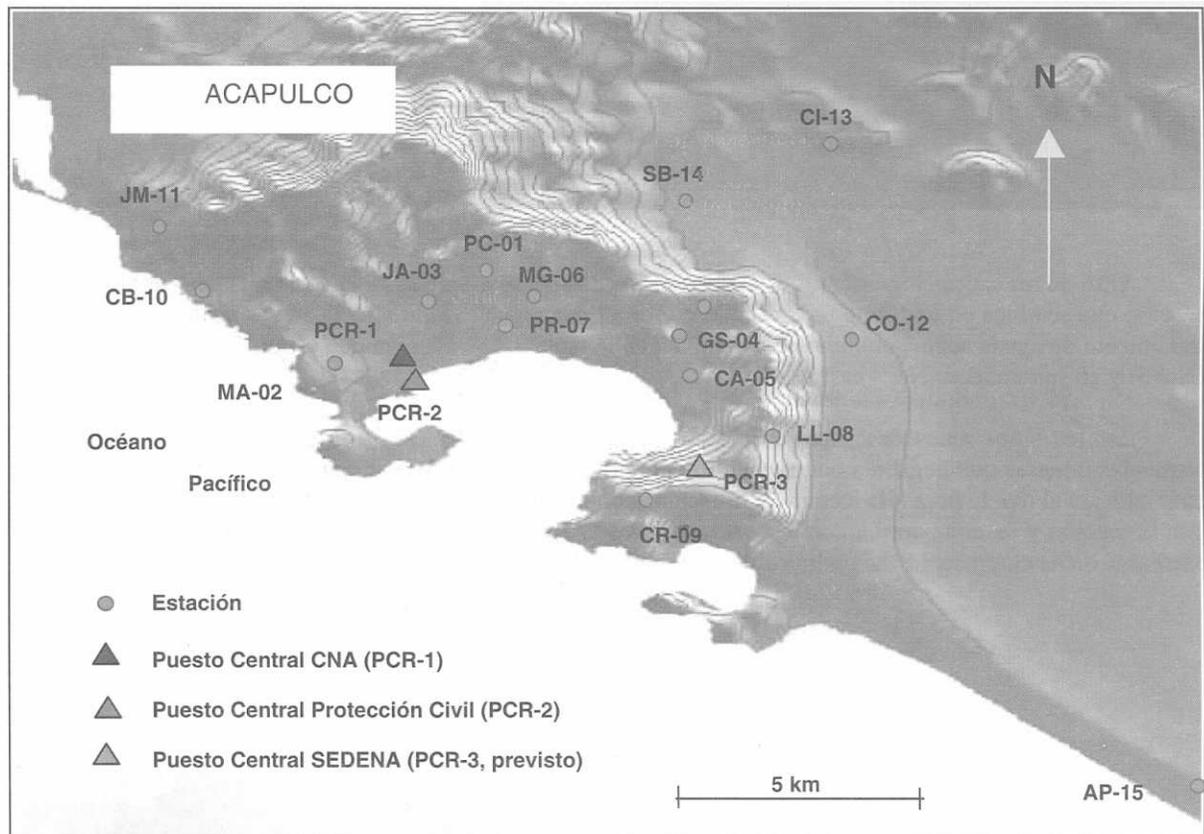
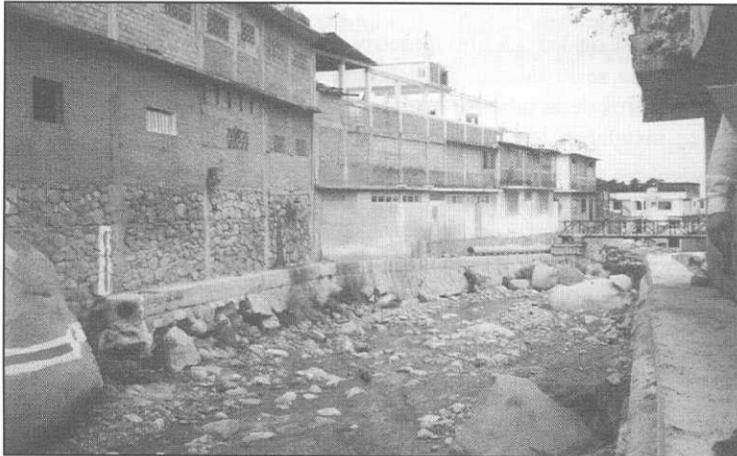


Figura 3.20 Ubicación de pluviómetros (segunda etapa)

3.2.1.2 Selección de los sitios para medir niveles

En la aplicación de los modelos matemáticos lluvia - escurrimiento se consideró un valor del coeficiente de escurrimiento, el cual posteriormente puede ser modificado de acuerdo con las mediciones de lluvia. Sin embargo, para escoger su valor es conveniente medir el gasto en algunos sitios y asociarlo con la lluvia que se presentó. Estas maniobras implican una instalación temporal de instrumentos para estimar dichos gastos.

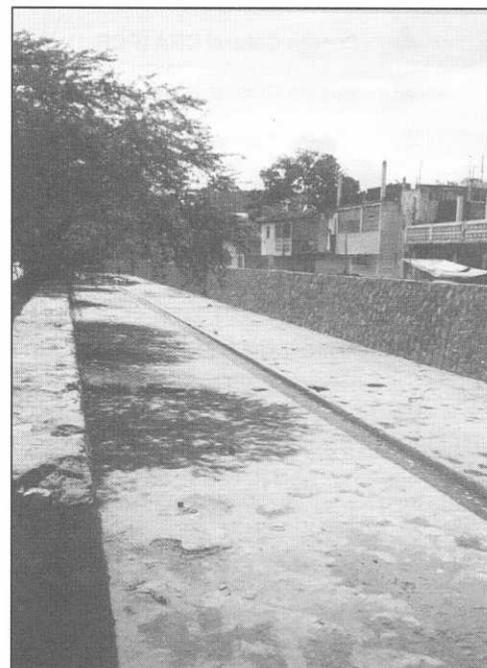
En el cauce del arroyo "Palma Sola - Camarón" se seleccionó una sección que se encuentra en un tramo casi recto que se ubica aguas arriba del cruce con la avenida Adolfo Ruíz Cortínez (figura 3.21) Cabe mencionar que durante la entrada del huracán "Pauline" al anfiteatro, inmediatamente aguas abajo de este cruce fue destruida en su totalidad una iglesia por el flujo de agua con piedras, arena y escombros. Por tal motivo la cuenca de este arroyo en la tabla 3.2 se observa que es analizada en su parte alta (No. 5) y en su totalidad (No. 6).



**Figura 3.21 Sección del arroyo
Palma Sola Camarón**

Otro de los cauces importantes es el arroyo "Aguas Blancas" (Juan Álvarez), en el cual se escogió una sección que se ubica en un tramo ya revestido de forma rectangular (figura 3.22), aguas abajo de la planta de tratamiento de aguas negras municipales. También en la tabla 3.2 se observa que es analizada en su parte alta (No. 3) y en su totalidad (No. 4).

En los sitios antes descritos se instalará temporalmente una escala que será vigilada durante las tormentas intensas que lleguen a ocurrir dentro del anfiteatro; 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 subsistema. Mediante dicha comparación se podrá calibrar el modelo lluvia-escurrimiento.



**Figura 3.22 Sección del arroyo
Aguas Blancas**

3.2.1.3 Determinación de los escurrimientos en las cuencas

Para determinar los escurrimientos en las cuencas debidos a una tormenta se analizaron los hidrogramas unitarios de las 22 cuencas en estudio, utilizando los modelos lluvia-escurrimiento “Hidrograma unitario instantáneo geomorfológico” y el “Hidrograma unitario adimensional”.

3.2.1.4 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 para obtener sus parámetros geomorfológicos, se utilizaron planos de INEGI a escala 1:50,000. 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 las corrientes.

En la tabla 3.3 se muestran los valores de los parámetros requeridos para el cálculo de los hidrogramas unitarios geomorfológicos.

Tabla 3.3

Cuenca	R_B	R_L	R_A
Palma Sola – Camarón (Superior)	3.46	1.50	4.20
Palma Sola – Camarón	3.46	2.12	5.13
Juan Álvarez (Superior)	5.00	2.63	3.00
Juan Álvarez	5.00	3.00	5.87
La Ganta	3.00	1.76	3.67
Pie de la Cuesta 1	3.00	1.71	5.47

Con los parámetros anteriores se calcularon los hidrogramas unitarios para cada cuenca para una duración de la lluvia en exceso de 10 minutos. Dichos hidrogramas se presentan en la figura 3.23.

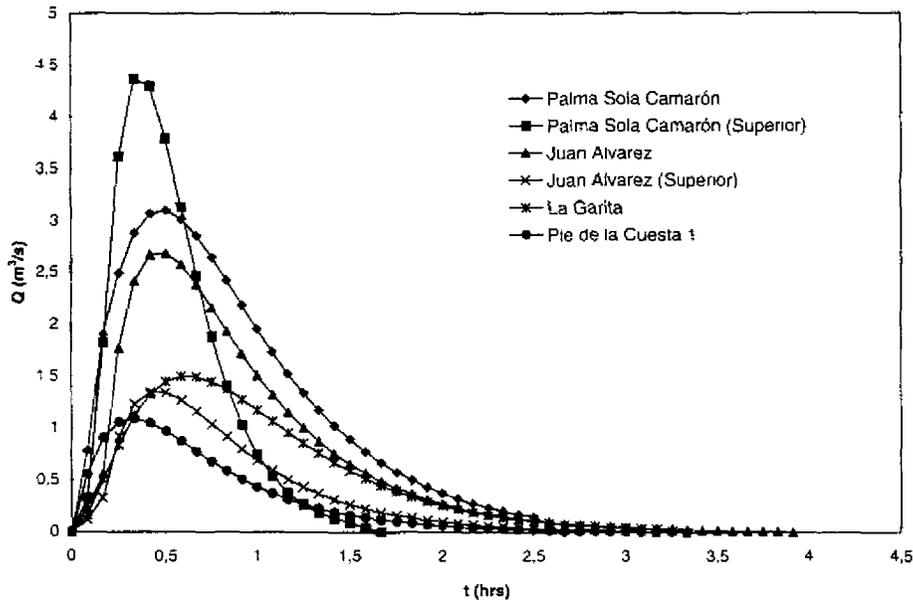


Figura 3.23 Hidrogramas Unitarios Instantáneos Geomorfológicos

3.2.1.5 Aplicación del hidrograma unitario adimensional

Para aplicar la metodología del hidrograma unitario adimensional fue necesario obtener algunas de las características fisiográficas de las cuencas en estudio. Por lo que en un plano de INEGI a escala 1:50,000 se identificó y trazó el parteaguas de las cuencas, así como todas las corrientes apreciables. Posteriormente se obtuvieron las características que se muestran en la tabla 3.4

Con estas características fisiográficas y considerando que la duración de la lluvia en exceso es de 10 minutos, se calcularon los hidrogramas unitarios de las cuencas en estudio. Dichos hidrogramas se presentan en la figura 3.24.

Tabla 3.4 Características fisiográficas de las cuencas

Cuenca	Área (km ²)	Cauce principal	
		Pendiente	Longitud (m)
Pie de la Cuesta 2	0.721	0.1530	1,950
Magallanes	4.075	0.1490	3,250
Deportivo 1	0.746	0.3420	800
Deportivo 2	1.244	0.1790	1,700
Costa Azul	7.089	0.0540	3,450
Coloso	2.264	0.0860	2,350
Base Naval	4.826	0.1220	2,400
Icacos 1	2.587	0.1570	2,800
Icacos 2	0.572	0.2470	1,150
Icacos 3	1.345	0.1680	2,100
Carabalin	17.523	0.0497	7550
Arroyo Seco	9.11905	0.0521	9250
El Quemado	12.7619	0.0252	7900
Cuesta 3	1.14286	0.2074	2400
Cuesta 4	1.45238	0.1644	2700
Cuesta 5	1.30952	0.1749	2550

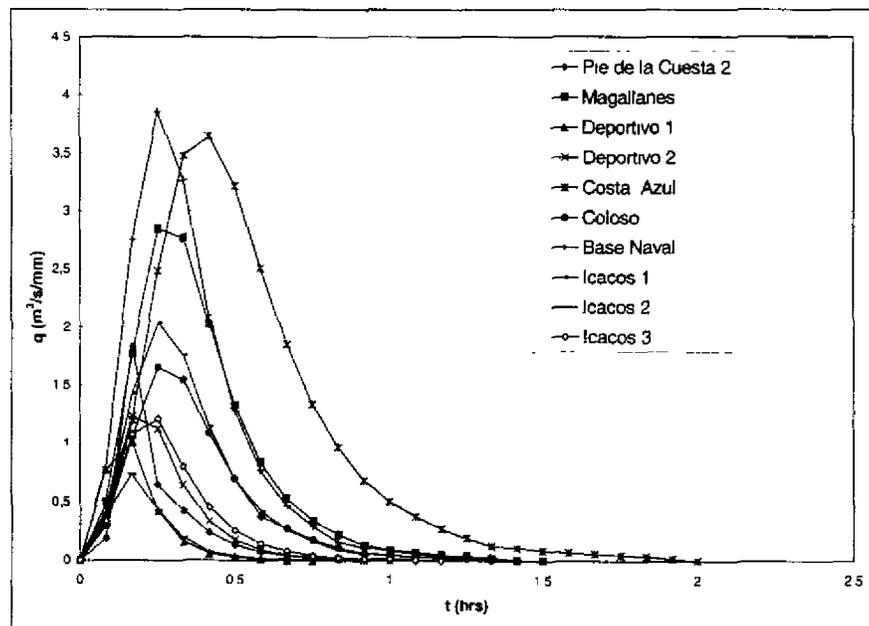


Figura 3.24 Hidrogramas Unitarios Instantáneos (Adimensionales)

3.2.1.6 Cálculo del escurrimiento directo

Para calcular los escurrimientos directos de las cuencas en estudio durante una tormenta es necesario determinar la precipitación media dentro de cada cuenca y obtener los hidrogramas unitarios de éstas

La precipitación media dentro de cada una de las cuencas se obtiene considerando la información de cada una de las estaciones y su área de influencia.

El área de influencia de cada estación fue calculada con un método de Thiessen. Este método consiste en asignar áreas de influencia de las estaciones. El cociente del área de influencia entre el área total de la cuenca se denomina "factor de peso". En este proyecto se determinaron varias tablas con valores de estos factores para prever que una o más estaciones no puedan transmitir las alturas de precipitación medidas. 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 lluvia de cada cuenca, en cada intervalo de tiempo Δt , se obtiene el hidrograma del escurrimiento directo que produce; éste se agrega a los calculados en los lapsos de 10 minutos anteriores.

Como la información de la precipitación en las estaciones es actualizada cada diez minutos se puede analizar el comportamiento del escurrimiento directo en el tiempo considerado y en tiempos anteriores.

El subsistema considera que la altura media de precipitación puede calcularse 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 los siguientes 3 periodos de 10 minutos sí llegue esta información se corregirían los valores calculados de escurrimiento.

Cuando fallen más de cuatro estaciones se realiza una estimación de la lluvia media menos exacta y no se dejan de estimar los flujos de agua.

3.3 Resultados

El Sistema de Alerta Hidrometeorológica de Acapulco entró en operación, en su primera fase, en Mayo de 1998. Con este sistema se han registrado lluvias importantes durante los años que ha estado funcionando.

Los pluviómetros se instalaron en lugares convenientes para medir la precipitación media en cada una de las 22 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.

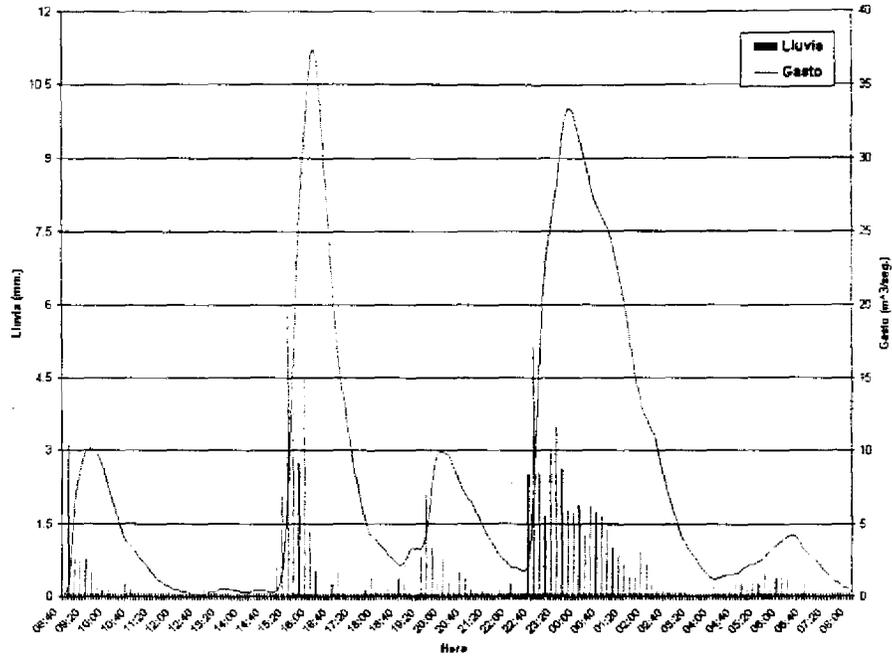


Figura 3.25 Lluvia registrada los días 5 y 6 de Septiembre de 1998 en la subcuenca del arroyo Aguas Blancas

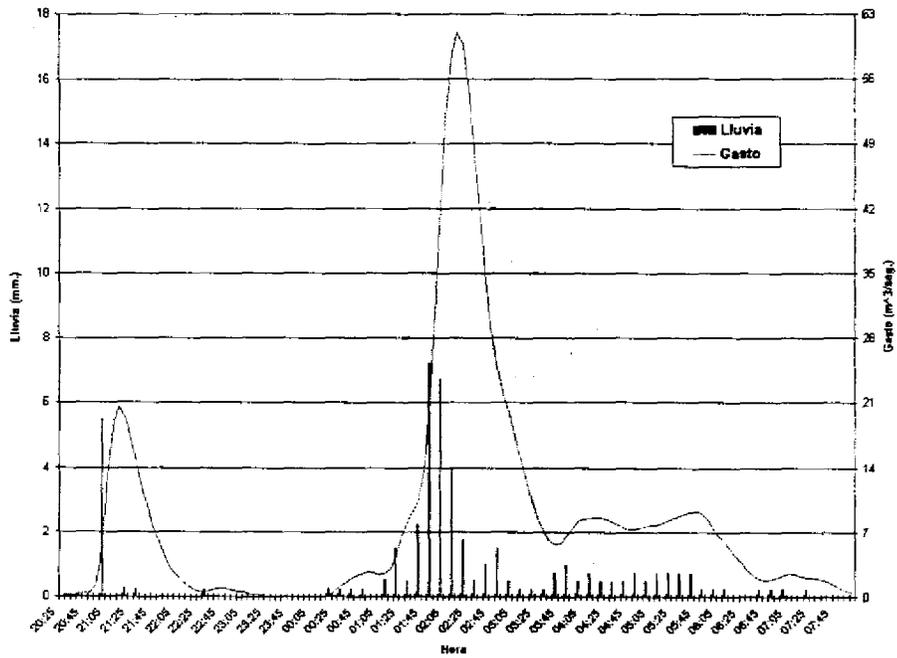


Figura 3.26 Lluvia registrada los días 1 y 2 de Julio de 1998 en la subcuenca del arroyo Palma Sola - Camarón (parte superior)

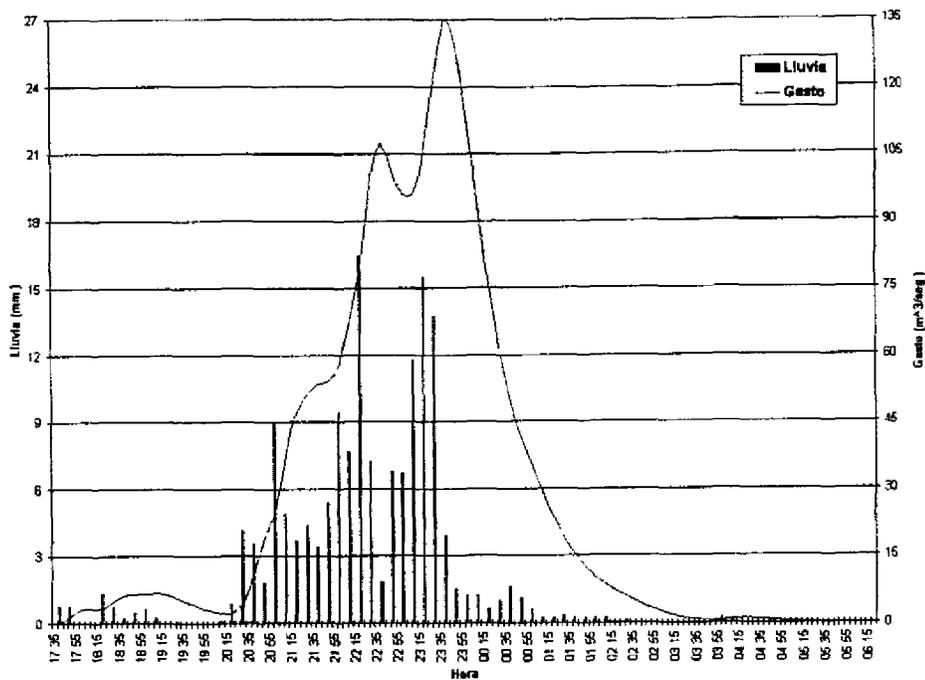


Figura 3.27 Lluvia registrada los días 9 y 10 de Julio de 1998 en la subcuenca del arroyo Aguas Blancas

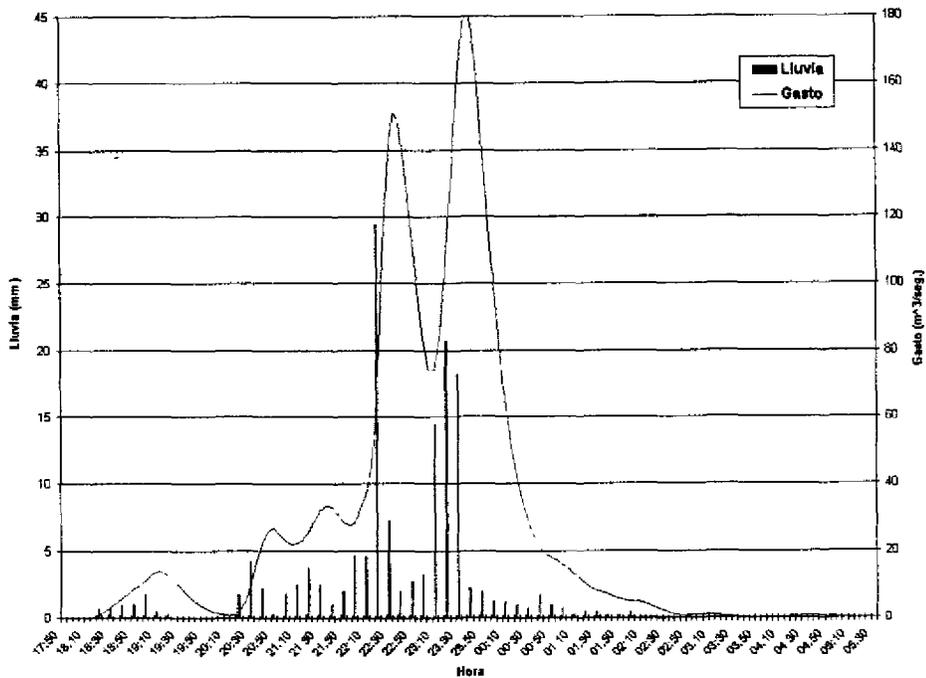


Figura 3.28 Lluvia registrada los días 9 y 10 de Julio de 1998 en la subcuenca del arroyo Palma Sola - Camarón (parte superior)

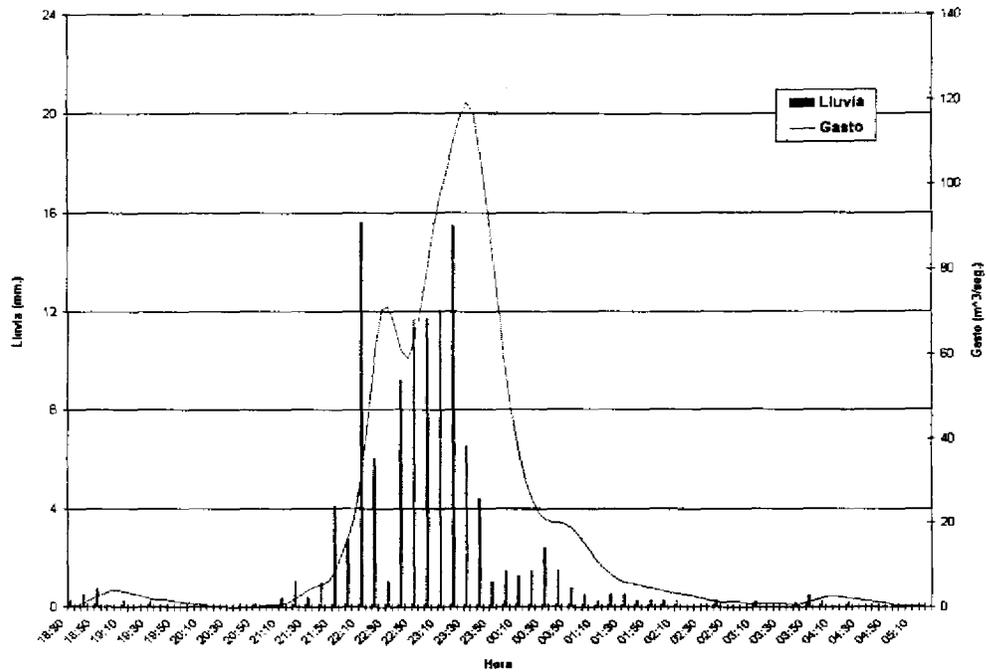


Figura 3.29 Lluvia registrada los días 9 y 10 de Julio de 1998 en la subcuenca del arroyo Costa Azul

Las tormentas de los días 9 y 10 de Julio de 1998 activaron las alarmas del sistema, con lo que se iniciaron los operativos tanto de Protección Civil como de la CNA de Guerrero, para prevenir cualquier contingencia que se derivara de las fuertes precipitaciones registradas (figura 3.30).

El Sol de Acapulco

Acapulco, Gro., Viernes 10 de Julio de 1998

Cerraron el paso a desnivel Evacuaron familias de por lo menos 8 colonias

Por Carlos ORTIZ MORENO

Inundación de calles y cientos de casas ubicadas en las partes bajas de la ciudad, arrastre de piedras, arena y todo que provocaron cortes momentáneos en la circulación vehicular, evacuación de familias de las colonias Santa Cecilia, Palma Sola, Silvestre Castro, Ampliación Silvestre Castro, Icacos, parte de Ciudad Renacimiento, algunas viviendas de la colonia Progreso y la colonia Sinal, así como decenas de vehículos varados fue el saldo que dejó la fuerte lluvia que cayó anoche y que duró más de dos horas.

De acuerdo a la información proporcionada al filo de la medianoche por la dirección municipal de Protección Civil, la fuerte precipitación pluvial caída en Acapulco superó las expectativas al grado que activó los sistemas de alarma en cuatro de los cinco pluviómetros instalados en igual número de cuencas de Acapulco lo que provocó alerta general al sistema operativo para iniciar las evacuaciones.

En algunos sectores de la ciudad, la Comisión Federal de Electricidad, a través de su departamento de emergencias, confirmó que se registraron cortes en el suministro de energía eléctrica. Aunque no se detallaron los sitios en donde se había interrumpido ese servicio, se dijo que en un 90 por ciento se restablecieron automáticamente.

Luego de que transcurrieran los minutos y la lluvia no bajaba su fuerza y tras de que aumentó el nivel de agua, el paso a desnivel fue cerrado a la circulación vehicular como medida preventiva por parte de elementos de Tránsito municipal. El operativo, integrado al esquema global de protección civil, se realizó de manera coordinada por las dos entradas a ese sitio.

El propio departamento de Tránsito confirmó el cierre parcial de la avenida Cuauhtémoc, en el punto conocido como Las Anclas —frente a la calle Wilfrido Massieu— debido a que se elevó el nivel de arena y piedras que, como consecuencia, provocó que varios vehículos quedaran varados con sus conductores impedidos para maniobrar.

Los boulevares de Las Naciones y el José López Portillo se anegaron por la fuerte lluvia lo que causó que por minutos se suspendiera la circulación vehicular. En la vía que enlaza el puerto con la colonia Ciudad Renacimiento decenas de taxis colectivos y vehículos particulares quedaron también varados.

La Capitanía de Puerto informó que no se ha cerrado el puerto a la navegación aunque sí se hizo la recomendación general a la navegación mediana y pequeña para estar alerta a la información oficial sobre la cercanía de la perturbación tropical y que fue detectada a 100 kilómetros frente a las costas de Oaxaca.

La propia oficina de protección civil de Acapulco indicó finalmente que el sistema de protección civil se mantenía en alerta debido a que dicha perturbación estaba en carácter de estacionario por lo que se pronosticaba más lluvias fuertes en Guerrero.

RECORRIDO DEL ALCALDE

El alcalde Manuel Añorve Baños, quien realizó un recorrido en las áreas afectadas por las inundaciones, informó que se habilitaron doce albergues para refugiar a decenas de familias principalmente de aquellas zonas en donde los pluviómetros funcionaron al emitir los respectivos avisos para activar el sistema preventivo de evacuación.

Añadió que el puente de la calle Baja California, cuyos trabajos de reconstrucción los inicia hoy la SCT, se colapsó totalmente. Se proporcionó ayuda a decenas de vehículos que quedaron atrapados en las grandes cantidades de arena que bajaron de las partes altas y debido a que la perturbación tropical permanece frente a las costas del Pacífico Sur se mantienen en alerta todos los integrantes del sistema.

Finalmente reiteró su llamado a la población para que no cruce las corrientes de agua ya sea caminando o en los mismos vehículos pues dichas caídas de agua son engañosas. Es preferible guardar las precauciones del caso a sufrir las consecuencias que pueden resultar fatales. Concretó que a las 2.30 horas de hoy viernes no se había reportado ninguna víctima.

Figura 3.30 Información periodística de las tormentas del 9 y 10 de julio de 1998