

**CENTRO AGRONOMICO TROPICAL
DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA**

**SECRETARIA GENERAL
DEL CONSEJO DE PLANIFICACION ECONOMICA
SEGEPLAN**

**ANALISIS HIDROLOGICO PRELIMINAR
DE LAS CRECIDAS DEL RIO PENSATIVO**

Guatemala, marzo de 1988

**CENTRO AGRONOMOICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
CATIE**

**SECRETARIA GENERAL DEL CONSEJO
DE PLANIFICACION ECONOMICA
SEGEPLAN**

**//ANALISIS HIDROLOGICO PRELIMINAR DE LAS CRECIDAS
DEL RIO PENSATIVO**

**GUATEMALA, GUATEMALA
Marzo de 1988**

**ING. FERNANDO LOPEZ CHOC ✓
HIDROLOGO**

**ESTE DOCUMENTO REFLEJA LAS OPINIONES PERSONALES DEL CONSULTOR Y NO
ES UN DOCUMENTO OFICIAL HASTA QUE SEA REVISADO Y APROBADO POR EL
PROYECTO REGIONAL DE MANEJO DE CUENCAS (PRMC)**

INDICE

	PAGINA
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Descripción de la Cuenca y del Problema	3
2.1.1. Características Generales	3
2.1.2. Geología	5
2.1.3. Morfometría	5
2.1.4. Suelos	6
2.1.5. Uso de la Tierra	7
2.1.6. Aspectos Meteorológicos	8
2.1.7. Aspectos Socio-económicos	8
2.1.8. Efecto de la Cuenca en las Inundaciones en la Ciudad de Antigua.	9
2.2. Los Recursos Hidráulicos de la Cuenca	10
2.2.1. Disponibilidad de los Recursos Hidráulicos	10
2.2.2. Usos y Demandas del Recurso	ii
2.2.3. Problemas Relacionados con el Recurso	11
2.3. Análisis Hidrometeorológico de las Crecidas del Rio Pensativo	12
2.3.1. Precipitación	12
2.3.2. Descripción del Modelo de Crecidas	24
2.3.2.1. Topología de la Cuenca	24
2.3.2.2. Características de las Subcuencas	25
2.3.2.3. Características de los Canales	29
2.3.3. Cálculo de Crecidas	29
3. ANALISIS DE RESULTADOS	30

	PAGINA
4.	CONCLUSIONES 32
5.	RECOMENDACIONES 34
6.	RESPONSABILIDAD INSTITUCIONAL 37
6.1.	Instituciones Involucradas 37
6.2.	Acciones en Ejecución 39
7.	RECOMENDACIONES PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA 41
7.1	Datos y Estudios Adicionales 41
7.2	Acciones Recomendadas 42
7.2.1	Acciones Recomendadas a Corto Plazo 42
7.2.2	Acciones Recomendadas a Largo Plazo 43
8.	PRIORIZACION DE ESTUDIOS Y ACCIONES RECOMENDADAS 44

LISTA DE GRAFICAS

- Gráfica 1: Localización de la Cuenca del Río Pensativo.
- Gráfica 2: Ubicación de Estaciones Pluviométricas.
- Gráfica 3: Gráfica de Frecuencias, Precipitación Máxima Diaria, Estaciones Antigua y Florencia.
- Gráfica 4: Relación entre la Precipitación Máxima para distintas Duraciones y la Precipitación Máxima en 24 horas.
- Gráfica 5: Subcuencas del río Pensativo.

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1: Frecuencia con que Ocurrió la Precipitación Máxima Mensual en cada Mes.
- Cuadro 2: Frecuencia con que Ocurrió la Precipitación Máxima Diaria en cada Mes.
- Cuadro 3: Ordenamiento de la Precipitación Máxima Diaria Estación Antigua.
- Cuadro 4: Ordenamiento de la Precipitación Máxima Diaria Estación Florencia.
- Cuadro 5: Parámetros estadísticos de las Series de Precipitación Máxima.
- Cuadro 6: Relación entre los Promedios de las Series de Precipitación Máxima en 1, 3, 6 y 12 Horas y de la Serie de 24 horas.
- Cuadro 7: Cálculo de la Precipitación Máxima para Distintas Duraciones y Períodos de Retorno.
- Cuadro 8: Hietogramas adoptados
- Cuadro 9: Características de las Subcuencas Considerando el Uso Actual del Suelo.
- Cuadro 10: Características de las Subcuencas Considerando Reforestación Total.
- Cuadro 11: Datos de los Canales.
- Cuadro 12: Caudales Pico producidos por Distintos Hietogramas.

Cuadro 13: Caudales Pico Producidos por Tormentas con Diferentes Períodos de Retorno y Condiciones de Humedad Antecedente (Condiciones Actuales).

Cuadro 14: Caudales Pico Producidos por Tormentas con Diferentes Períodos de Retorno y Condiciones de Humedad Antecedente (Cuenca Reforestada).

1. INTRODUCCION

La Ciudad de Santiago de Guatemala fue fundada por Pedro de Alvarado en Iximche el 27 de Julio de 1524. Desde su fundación la capital del reino de Guatemala se vió afectada por diversas catástrofes, por lo que debió ser trasladada sucesivamente de lo que hoy es Tecpan-Guatemala al valle de Almolonga, luego al valle de Panchoy y finalmente en 1773 al valle de la Ermita, donde actualmente se encuentra la ciudad que recibió el nombre de la Nueva Guatemala de la Asunción.

Curiosamente la catástrofe que motivó el traslado de la ciudad de Santiago de los Caballeros, hoy Antigua Guatemala, del valle de Panchoy, ayudó a la preservación de la arquitectura de la ciudad, que durante la época colonial, fue una de las mas bellas e importantes de la América Hispana. Actualmente la ciudad de Antigua Guatemala es considerada como una joya colonial, por lo cual en julio de 1965 la VIII Asamblea General del Instituto Panamericano de Geografía e Historia la declaró "Ciudad Monumento de América". Posteriormente el 28 de octubre de 1969 el Congreso de la República promulgó la Ley Protectora de la Antigua Guatemala, creándose el Consejo Nacional para la Protección de la Antigua Guatemala. En 1979 como parte de la adhesión del Gobierno de Guatemala a la Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural, la ciudad de Antigua Guatemala en conjunto con el Parque Arqueológico de Quiriguá y el Parque Nacional de Tikal, fué inscrita en la Lista del Patrimonio Mundial bajo la salvaguardia de la comunidad internacional.

Desde su fundación, la ciudad ha venido padeciendo diversos desastres que finalmente motivaron el traslado de la capital. Dentro de estas, tienen especial importancia las inundaciones provocadas por las crecidas del rio Pensativo, en las riveras del cual la ciudad fué originalmente asentada.

La ciudad ha padecido intensamente el efecto de las inundaciones, siendo cuantiosas las perdidas materiales que han ocasionado, e inmenso el peligro para el patrimonio cultural que la ciudad representa.

Se han conducido diversos estudios y obras con el propósito de identificar acciones prioritarias, que permitan solucionar o aliviar la situación actual. Sin embargo hasta el momento no se había estudiado la cuenca desde el punto de vista hidrológico, tomando en cuenta los factores que provocan las crecidas, así como las condiciones que limitan su estudio.

El análisis preliminar de las crecidas del rio Pensativo se elaboró con el propósito de estimar, con la información que actualmente se cuenta, las crecidas que pueden desarrollarse en la cuenca del rio Pensativo, evaluar la información disponible y tomar un mejor conocimiento del fenómeno. De tal manera se planteó el estudio de acuerdo a los siguientes términos de referencia:

**TERMINOS DE REFERENCIA PARA ESTUDIO SOBRE CONTROL
DE LAS INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE ANTIGUA GUATEMALA
(CUENCA DEL RIO PENSATIVO)**

1. DESCRIPCION DE LA CUENCA Y DEL PROBLEMA

1.1. Aspectos Físicos

1.2. Aspectos Meteorológicos

1.3. Aspectos Socio-económicos

1.4. Efectos de la Cuenca en las Inundaciones en la Ciudad de Antigua Guatemala.

2. LOS RECURSOS HIDRAULICOS DE LA CUENCA

2.1. Disponibilidad de los Recursos Hidráulicos

2.2. Usos y Demandas del Recurso

2.3. Problemas Relacionados con el Recurso

3. HIDROMETEOROLOGIA

3.1. Precipitación

-Análisis Regional

-Análisis de Tormentas

-Desarrollo de Metodología para la Evaluación de Tormentas Críticas

3.2. Hidrología

-Regimen Hidrológico

-Calidad del Agua

3.3. Sedimentos

-Transporte y Deposición de Sedimentos

-Evaluación del Problema de Sedimentos

3.4. Crecidas

-Elaboración de un Modelo de Crecidas de la Cuenca

-Estimación de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno

-Evaluación de las Obras Existentes de Protección Contra Crecidas

4. RESPONSABILIDAD INSTITUCIONAL

4.1. Instituciones Involucradas

4.2. Acciones Ejecutadas o en Ejecución

4.3. Acciones Proyectadas

5. RECOMENDACIONES PARA MITIGAR EL PROBLEMA

5.1. Datos y Estudios Adicionales

5.2. Acciones Recomendadas

5.2.1. Acciones Inmediatas

5.2.2. Acciones a Corto y Largo Plazo

2. ANTECEDENTES

2.1 Descripción de la Cuenca y del Problema

La mayor parte del material de este capítulo es recopilación bibliográfica, por lo que el número que aparece al lado del título, identifica la referencia de la que fué extraída la mayor parte del material.

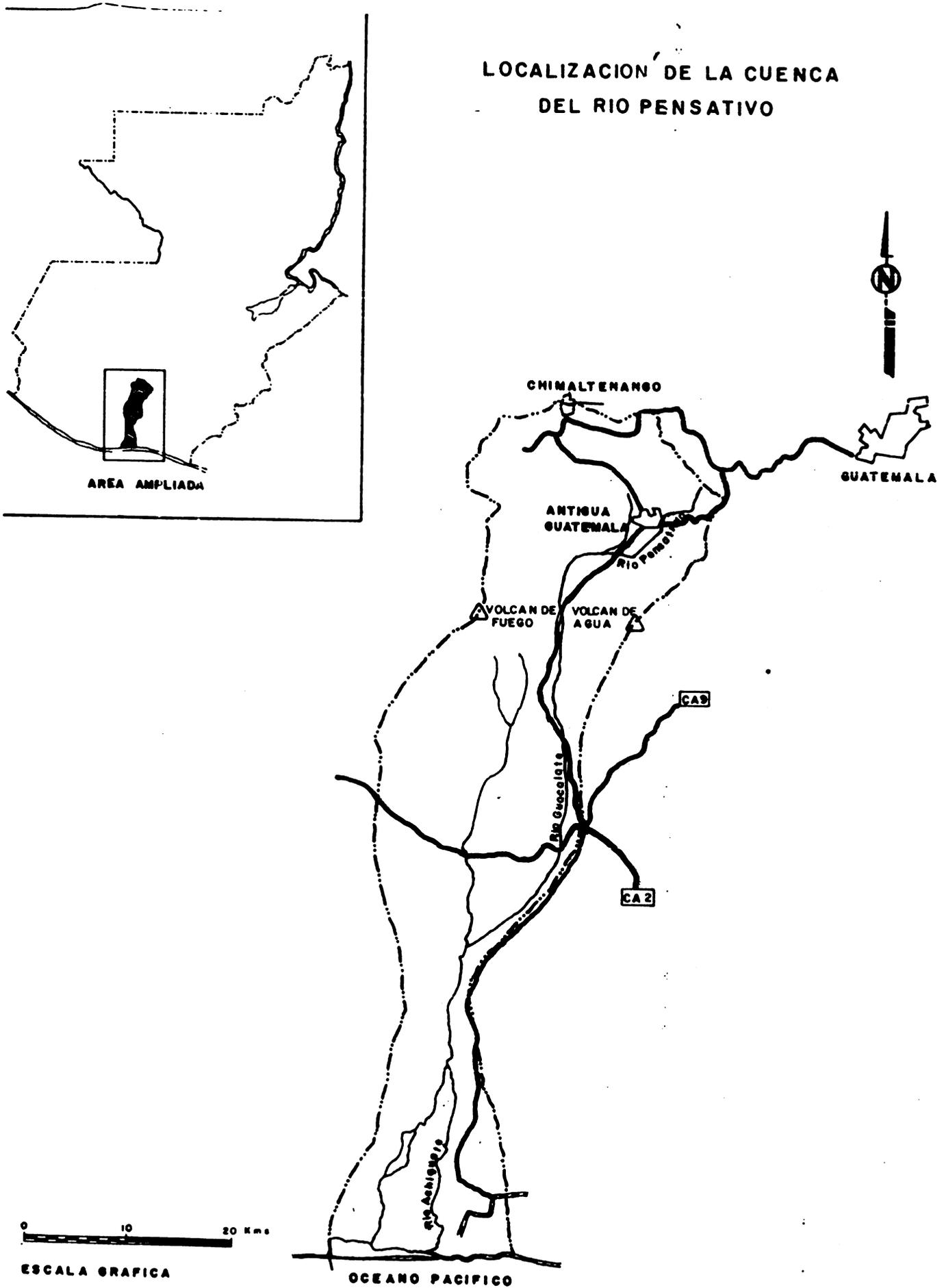
2.1.1 Características Generales (3)

El río Pensativo drena un área pequeña en el noreste de la cuenca del río Achiguate (ver Gráfica 1). La extensión aproximada del área que drena superficialmente hasta el puente de entrada a la ciudad de Antigua por la ruta Nacional No.10, es de 24.89 Kms, repartidos entre los municipios de Antigua Guatemala, Santa Lucía Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas del departamento de Sacatepequez.

Los ríos principales que drenan la cuenca son: El Sauce, Santa María, Las Cañas, Manzano, y San Miguel. El cauce principal del río Pensativo nace con el nombre de río Las Cañas y en un desarrollo de solo 7 kms de longitud, desciende 592 mts hasta el puente de la ruta nacional No. 10.

El área que ocupa la cuenca es súmamente quebrada, existiendo zonas planas únicamente al este, donde se encuentran las poblaciones de Santa Lucía Milpas Altas, Santo Tomás Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas. Los accidentes topográficos de mayor significación son los cerros El Piñon que alcanza una elevación de 2035 MSNMM, El Astillero que alcanza los 2374 MSNMM, El Hato con 2017 MSNMM, El Narizon que llega a los 2247 MSNMM y Las Minas con 2480 MSNMM. Por otra parte, la elevación aproximada del puente de entrada a la ciudad de Antigua Guatemala, hasta donde

LOCALIZACION DE LA CUENCA DEL RIO PENSATIVO



GRAFICA No. 1

se realizó el estudio es de 1547 MSNMM, lo que da una idea clara de lo accidentado del terreno.

La cuenca es atravesada de noreste a oeste por la ruta nacional No.10 que va de San Lucas Sacatepequez hacia la Antigua Guatemala, así como por varios caminos vecinales de terracería.

2.1.2 Geología (4)

Las formaciones geológicas superficiales que presenta la cuenca son en su mayoría de origen volcánico, pudiendo distinguirse tres unidades principales:

En primer lugar las rocas volcánicas del cuaternario, en donde se incluyen coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos.

Las rocas volcánicas sin dividir del terciario, predominantemente del Mio-Plioceno, que incluye tobas, coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos.

Por último los aluviones cuaternarios, en su mayoría constituidos por material erosionado tales como cantos rodados, brechas, poméz, arenas y gravas, que se han depositado en el valle de la Antigua Guatemala.

Las dos primeras formaciones constituyen la parte alta de la cuenca y han sido los materiales básicos para los depósitos aluviales que caracterizan el valle que formó el río Pensativo, que es donde actualmente se ubica la ciudad. Como hay otros cauces tributarios del río Pensativo en este tramo, los materiales que forman el valle también pueden haber provenido de la cuenca del Guacalate ó de otras cuencas menores.

2.1.3 Morfometría (3)

De acuerdo al criterio de Horton, el orden (v) de la corriente principal de la cuenca del río Pensativo es 4, mientras que el radio de bifurcación (R_b) definido como la relación del número de segmentos de un orden dado, al número de segmentos del orden proximo mayor es 6.55. El orden es elevado para el área de la cuenca e indica una red desarrollada de drenaje con cierta influencia geológica, mientras el radio de bifurcación es algo elevado pero representativo de cuencas redondas, lo que significa que tiene tendencia a desarrollar crecidas pronunciadas.

La longitud total (L_v) de las corrientes es de 146.89 kms. Y el radio de longitud (R_l) es de 3.45, como corresponde a zonas montañosas en donde la geología ha interferido en el desarrollo de mas corrientes. Otra información morfométrica importante es la distancia del punto de interés al centroide de la cuenca (L_c) medido sobre el cauce principal, que se encontró que es 3.17 kms. La longitud promedio de la escorrentía superficial (L_g), definida

como el inverso del doble de la densidad de drenaje se encontró igual a 98.31 mts.

El factor de forma (Rf) que es la relación adimensional entre el área de la cuenca (Av) y el cuadrado de la longitud de la cuenca (Lb) es 0.48. La relación circular (Rc), que es la relación del área de la cuenca al área de un círculo (Ac) que tiene el mismo perímetro que la cuenca, se encontró que es igual a 0.51. El radio de elongación (Re) que se define como la relación del diámetro de un círculo que tiene igual área que la cuenca con la longitud máxima de la cuenca, es 0.78. Todos los factores anteriores son medidas cuantitativas de la forma de la cuenca y en este caso se obtuvieron valores representativos de cuencas con tendencia a la redondez, ubicadas en partes altas de cuencas, con ordenes menores.

La densidad de drenaje (Dr) que es el total de segmentos de canal dividido por el área de la cuenca es de 5.09 kms/km, valor sumamente bajo que indica la presencia de una roca base muy resistente, que impide el desarrollo de una mayor longitud de corrientes.

El perfil del canal principal del río muestra concavidad hacia arriba durante todo su recorrido, pero su fuerte pendiente, indica que se trata de un cauce sumamente joven, que seguramente esta sujeto a fuertes cambios antes de estabilizarse, por lo que el proceso de erosión y transporte de sedimentos dentro del cauce va a seguir produciendo material grueso hacia la parte baja.

La pendiente equivalente del cauce principal (Sst) se encontró igual a 55.06 mts/km, mientras la pendiente media del terreno se determinó que es 0.397 mts/mt. Ambos factores son elevados y corresponden a cabeceras de cuencas en rocas sumamente duras como ya se había establecido.

La curva hipsométrica muestra una forma que cualitativamente es mas parecida a la de cuencas en su etapa mas joven de desarrollo, por lo tanto es de esperarse que la cuenca este sujeta a fuerte erosión por la acción del flujo superficial sobre el terreno, sin importar su cobertura.

En resumen, la información mas importante que puede obtenerse de la morfometría, indica que la cuenca presenta características de zona montañosa, con estratos de roca resistente e impermeable relativamente superficial, geomorfológicamente muy joven, con tendencia a la redondez. Estas características determinan que la cuenca sea propicia a la formación de escorrentía superficial, cuyos caudales confluyen en la salida de la cuenca en forma casi simultánea, produciendo gran cantidad de sedimentos.

2.1.4 Suelos (5)

La cuenca del río Pensativo se encuentra localizada en la provincia fisiográfica denominada Tierras Altas Volcánicas,

dentro de la cual pueden diferenciarse dos grandes paisajes:

-Montañas Altas de Sumpango y Milpas Altas

-Valle de Panchoy

En el primero se agrupan tres paisajes: colinas bajas erosionadas, Altiplanicie de Milpas Altas y Terrazas Erosionadas. El segundo contiene solamente un paisaje que es el Abanico del Rio Pensativo.

Las Colinas Bajas Erosionadas ocupan un área de 18.3 km² con relieves accidentados, suelos medianamente profundos, porcentaje de materia orgánica medio y cierta capacidad de retención de humedad. Por su pendiente su riesgo de erosión es elevado.

La Altiplanicie de Milpas Altas abarca un área de 1.7 km², con características de pendiente ondulada, mayor permeabilidad relativa y menor riesgo de erosión debido a la pendiente. Los suelos tienen una alta capacidad de retención de humedad y son profundos.

Las Terrazas Altas Erosionadas ocupan una extensión de 7.4 km², cuyos suelos se originan a partir de ceniza volcánica, su capacidad de retención de humedad es ligeramente alta y su riesgo de erosión es moderado.

El Abanico del Rio Pensativo abarca un área de 1.4 km² y presenta suelos con pendientes suaves, poco erosionadas que están constituidas por cenizas volcánicas y sedimentos fluviales depositados por los ríos que drenan en ese sentido. Los suelos son profundos, con una alta retención de humedad y un contenido de materia orgánica ligeramente alto.

2.1.5 Uso de la Tierra (5)

No parece existir gran conflicto entre el uso actual del suelo y el uso potencial. Las áreas que presentan mayor peligro de erosión se encuentran cubiertas de bosque y las áreas con vocación agrícola, son en general las que se explotan con cultivos. La cuenca presenta una buena cobertura de bosque (60%) que ha ido disminuyendo lentamente en favor de las zonas urbanas y agrícolas. El área urbana ocupa aproximadamente un 6%, y su importancia es reducida debido a, las características de la cubierta urbana en la zona, que es impermeable solamente en un porcentaje muy pequeño. El área agrícola abarca un 33% de la cuenca y en términos generales se ubica en áreas con esa vocación. Parece existir mas problemas en cuanto a las prácticas agrícolas que se utilizan, que en cuanto al uso propio del suelo. Por último las carreteras asfaltadas ocupan aproximadamente un 1%, porcentaje que se considera sumamente pequeño para tener un efecto hidrológico apreciable en cuanto a los volúmenes líquidos que produce.

2.1.6 Aspectos Meteorológicos

Por su posición, la mayor parte de precipitación en la cuenca del río Pensativo provocada por el efecto orográfico sobre las masas de aire húmedo transportadas por los vientos alisios. La época lluviosa se desarrolla entre mayo y octubre, cuando cae cerca del 90% de la precipitación total anual.

La cuenca del río Pensativo se encuentra en una zona muy protegida debido a las barreras montañosas que la rodean, lo que provoca un efecto local de "sombra de lluvia". En tal virtud, es de esperarse una precipitación descendente en el sentido del valle en que se encuentra la ciudad, en donde debiera prevalecer un clima más seco y con temperatura ligeramente superior a la de una elevación similar, expuesta directamente a los vientos provenientes del Océano Pacífico.

La precipitación media anual en la cuenca es de alrededor de 1100 mm, que debido a la posición de la cuenca, puede variar significativamente. Por la misma razón, el área es muy susceptible a las sequías, sobre todo en el valle donde esta la ciudad, donde el efecto de sombra de lluvia es más pronunciado.

La temperatura media anual varía entre unos 14 grados centígrados en las partes más altas a 19 grados centígrados en el valle de la ciudad, y por tratarse de un clima relativamente seco pueden esperarse variaciones mayores que las normales en el valle, tanto durante el año como durante el día.

2.1.7 Aspectos Socioeconómicos (5)

De acuerdo al censo de 1981, existen dentro de la cuenca 10,554 habitantes, de los cuales el 68% vive en las poblaciones más importantes, es decir Santa Lucía Milpas Altas, Santo Tomás Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas. De esta población un 27.5% son indígenas, y el restante 72.5% son ladinos, mientras el 64.8% del total de habitantes son alfabetas.

Siendo la agricultura la principal fuente de ingresos para los habitantes, es importante hacer referencia que el 83.6% de los agricultores que ocupan el 91% del área agrícola, son propietarios de sus parcelas, teniendo las otras formas de tenencia una importancia muy limitada. El 50% de las parcelas tienen un área de 1 manzana o menos, mientras el 37.5% poseen entre 1 y 5 manzanas. En promedio el área agrícola por familia es de 0.45 hectáreas, incluyendo las áreas mayores en poder de pocos propietarios.

La mayor parte de las viviendas dentro de la cuenca, el 40.2% están construidas de madera, siendo en segundo lugar, con el 31.5%, el ladrillo o block el material que más se utiliza. El tipo de vivienda que más frecuentemente se observa es la casa corriente (79.2%), ocupando el segundo lugar en importancia el rancho (17.1%).

Se ha introducido energía eléctrica a las poblaciones de los municipios de Magdalena Milpas Altas y Santa Lucía Milpas Altas. En estos municipios el 47.2% de las viviendas posee luz eléctrica, mientras únicamente el 25.9% posee instalación de agua y solo el 3.9% cuenta con drenaje.

La carretera principal dentro de la cuenca es la ruta nacional No.10, que es una carretera asfaltada de 4 vías. Esta autopista comunica la ciudad capital con la ciudad de Antigua Guatemala, comunicando además dentro de la cuenca a Santa Lucía Milpas Altas con las dos ciudades. Existen también una serie de caminos vecinales que comunican las poblaciones de San Mateo Milpas Altas, Santo Tomas Milpas Altas, Magdalena Milpas Altas y San Miguel Milpas Altas entre ellas y con la autopista.

Se han construido dentro de la cuenca un total de 13 escuelas, 3 puestos de salud, 3 edificios de correos y telégrafos, 6 edificios municipales y 7 iglesias, que conforman el conjunto de los edificios más importantes.

2.1.8 Efecto de la cuenca en las Inundaciones en la Ciudad de Antigua.

De acuerdo a la información recabada durante el desarrollo del trabajo, la ciudad de Antigua Guatemala ha venido padeciendo inundaciones prácticamente desde su fundación. De acuerdo a la información periodística recopilada en la referencia (6), que incluye datos a partir de 1881, el río Pensativo se ha desbordado sobre la ciudad un gran número de veces, sobre todo en los meses de agosto, septiembre y octubre, siendo septiembre el mes en que con mayor frecuencia se ha presentado el problema. Este mes tiene la característica de ser en promedio el más lluvioso del año, aunque como se verá más adelante, difícilmente se presenten en este mes y durante la segunda parte del período lluvioso, las tormentas mayores para duraciones de alrededor de 1 hora, que podría suponerse son las tormentas que producen las mayores crecidas en la cuenca, debido a su tiempo de concentración.

De acuerdo a la descripción de la cuenca, se trata de un área sumamente joven e inestable, propicia a cambios en su estructura geomorfológica, por lo que el arrastre de sedimentos de la parte alta hacia el valle debe ser un proceso normal en esta etapa de su desarrollo. La ciudad de Antigua fue asentada en el valle del río Pensativo, formado por aluviones provenientes también de otras cuencas, que no ha alcanzado aún su pleno desarrollo, por lo que es natural que el río siga depositando sedimentos en la ciudad y en el valle. A esto se agrega la deforestación para introducir cultivos, que de cualquier manera incrementan la producción de sedimentos, las obras de ingeniería que también han producido material suelto fácil de erosionar y la urbanización e impermeabilización del suelo que incrementa la escorrentía superficial. El resultado de estas acciones sobre la cuenca ha sido agravar el problema al aumentar los picos de las crecidas y

la susceptibilidad a la erosión de los suelos.

La canalización del río Pensativo alrededor de la ciudad, también contribuyó a agravar el problema, al aumentar la longitud del cauce. El efecto fue disminuir la pendiente y en consecuencia la capacidad hidráulica y de conducir sedimentos del cauce. Al disminuir su capacidad de transporte de sedimentos, estos se depositan inicialmente en el cauce, disminuyendo aún más la capacidad hidráulica y provocando la migración de los depósitos de sedimentos hacia aguas arriba. Eventuales crecidas de cualquier magnitud, pueden arrastrar estos sedimentos por el cauce disminuido, provocando inundaciones al no ser capaz de evacuarlas.

2.2 Los Recursos Hidráulicos de la Cuenca

2.2.1 Disponibilidad de los Recursos Hidráulicos

De acuerdo a los datos de la referencia (6), solo ha existido una estación hidrométrica en la cuenca, que es la estación San Juan Gascón de la cual únicamente se cuenta con datos de los años hidrológicos 1980/81 y 1981/82. Por el corto período que funcionó y los escasos aforos con que se cuenta, los datos de esta estación solo permiten sacar conclusiones cualitativas sobre el régimen del río. De la curva de duración de caudales tomada de la referencia citada, puede deducirse que el régimen de caudales en la cuenca es altamente variable, con poco almacenamiento de agua subterránea. El río tiene caudales muy elevados durante la época de lluvias, y durante la época seca los caudales se reducen sensiblemente, desapareciendo en ocasiones por la permeabilidad del valle de la ciudad.

De tal manera, la disponibilidad de agua superficial prácticamente solo tiene una pequeña significación en los manantiales de origen subterráneo que se encuentran en la cabecera de la cuenca. Esto se debe a que los ríos que podrían tener alguna importancia, fluyen por cañones que hacen poco viable su utilización, por ejemplo para agua potable. Por otra parte los caudales son muy pequeños y variables como para pensar en otro tipo de uso, excepto el riego en muy pequeña escala.

La disponibilidad de agua subterránea también es limitada, debido a la poca permeabilidad de la parte alta de la cuenca, sobre todo de las áreas con pendientes más altas. Existen acuíferos que se considera deben tener dimensiones limitadas sobre todo en las zonas planas entre Santa Lucía Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas, que por la pendiente disponen de una recarga mayor. El nivel freático no debe ser muy profundo en estas áreas, como lo confirman los pozos perforados, aunque no existe información acerca de su rendimiento, se supone que este no debe ser muy elevado. La única zona que se identifica con un potencial significativo de agua subterránea, es el valle en que se asienta la ciudad de Antigua, debido a la alta permeabilidad y capacidad de infiltración del área.

2.2.2 Usos y Demandas del Recurso

Los usos que se le dan al recurso, concuerdan con su disponibilidad en la cuenca. El principal uso es el abastecimiento de agua a las poblaciones, para lo que principalmente se utilizan pequeños nacimientos, conducidos por gravedad a las poblaciones desde la parte alta de la cuenca. Con el mismo propósito pero en menor escala, se utilizan pozos que se ubican en la meseta de la parte alta de la cuenca y en el valle de Panchoy, que es donde se esperan los mejores rendimientos. Existen algunas estimaciones gruesas acerca de la magnitud de los volúmenes empleados en abastecimientos de agua, que indican que 5,423,561 m³/año son utilizados en este concepto, que equivalen a 171.98 lts/seg. Sin embargo estos son datos de diseño, que no necesariamente coinciden con la situación real de los abastecimientos.

El agua también es utilizada para riego en una escala muy reducida en la parte baja de la cuenca. En este sentido, no existen estimaciones de los volúmenes empleados, pero se estima que este uso carece de importancia desde este punto de vista.

Por último, también se utilizan los ríos como receptores y evacuadores de las aguas negras de las poblaciones, lo que provoca algunos problemas de contaminación en los cauces.

Naturalmente se prevee un incremento en la demanda de agua potable en el futuro, debido al crecimiento de la población. No existe al momento estimaciones globales de la demanda, pero el Instituto de Fomento Municipal (INFOM) ejecuta el Plan Nacional de Introducción de Agua Potable y Drenaje, dentro del cual están incluidas las estimaciones de déficits actuales y futuros, para todas las cabeceras municipales de la república. Al incrementarse la población y el agua disponible, es de esperarse que cantidades mayores de aguas negras contaminen los ríos de la cuenca y que el efecto se haga más evidente. No se prevee un aumento en el requerimiento de agua para riego, pues no existen en la cuenca áreas susceptibles de riego en alguna escala importante.

2.2.3 Problemas Relacionados con el Recurso

El problema que salta a la vista cuando se examina la cuenca del río Pensativo, es la falta de información meteorológica e hidrométrica que permita evaluar los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos y sus problemas relacionados. Es evidente que uno de los principales problemas de la cuenca, es la falta de estaciones y cuando estas han existido, los registros no son continuos, lo que no permite hacer evaluaciones con información obtenida en el lugar como sería deseable.

Puesto que las demandas de agua dentro de la cuenca están limitadas a su disponibilidad, el principal problema que se

plantea en el futuro probablemente sea la cantidad que pueda aprovecharse para abastecimientos de agua, cuando la demanda supere los recursos existentes. El otro problema que ya se manifiesta en la cuenca, es la contaminación de los cuerpos de agua, que repercute negativamente en la salud de la población. Es de preverse que cuando crezca el consumo, el grado de contaminación de los rios sea mayor, agravando la situación actual.

Otro problema que se relaciona indirectamente con el recurso, es la pérdida de capacidad productiva del suelo debido a la erosión. Este fenómeno afecta no solo a los agricultores de la cuenca, sino en algún grado provocan la contaminación de los recursos hidráulicos superficiales.

Sin embargo las condiciones en que se encuentra la cuenca del rio Pensativo no parecen ser críticas, si se las compara con las de otras cuencas de la república, por lo que se considera que el principal problema que ocasiona el rio, son las inundaciones de la ciudad de Antigua Guatemala.

2.3 Análisis Hidrometeorológico de las Crecidas del Rio Pensativo.

En este capítulo se incluye el análisis hidrológico y meteorológico de las crecidas del rio Pensativo, dentro del cual se detalla la metodología seguida para evaluar los distintos aspectos que involucra.

2.3.1 Precipitación

Como ya se habia indicado, la cuenca del rio Achiguate y dentro de ella la subcuenca del rio Pensativo, recibe la mayor parte de precipitación, del efecto orográfico sobre las masas de aire humedo que transportan los vientos alisios provenientes del sureste. Debido a que los macisos montañosos volcánicos, protegen la cuenca del tránsito directo de los vientos, esta se encuentra en una zona de "sombra de lluvia", caracterizada por precipitación descendente en el sentido del valle de Panchoy.

Debe señalarse que únicamente hay dos estaciones pluviométricas que pudieron utilizarse en el estudio, debido a su localización y período de registro. Únicamente la estación Florencia se encuentra dentro de la cuenca y aunque fue descontinuada a partir de 1976, su período de registro se inició en enero de 1933, lo que da una serie de 43 años. La estación Antigua EE está ubicada en la ciudad, e inició su funcionamiento en enero de 1934 contandose con información hasta marzo de 1987, lo que da una serie de 52 años. La ubicación de las estaciones se observa en la Gráfica 2.

Debido a que la cuenca es sumamente pequeña, inicialmente se supuso que las crecidas mas grandes son provocadas por tormentas intensas con duraciones de alrededor de una hora, que es

aproximadamente el tiempo de concentración de la cuenca. El concepto es importante, pues la ocurrencia de las tormentas máximas, dependiendo de su duración, varía durante el transcurso del año. En el Cuadro 1 se muestra la frecuencia con que se presentó la precipitación máxima mensual en cada mes del año, así como el porcentaje que representa, mientras en el Cuadro 2 se muestra la frecuencia con que se presentó la precipitación máxima diaria en cada mes del año, para el período de registro de cada una de las estaciones mencionadas.

CUADRO 1

FRECUENCIA CON QUE SE PRESENTO LA PRECIPITACION MENSUAL EN CADA MES

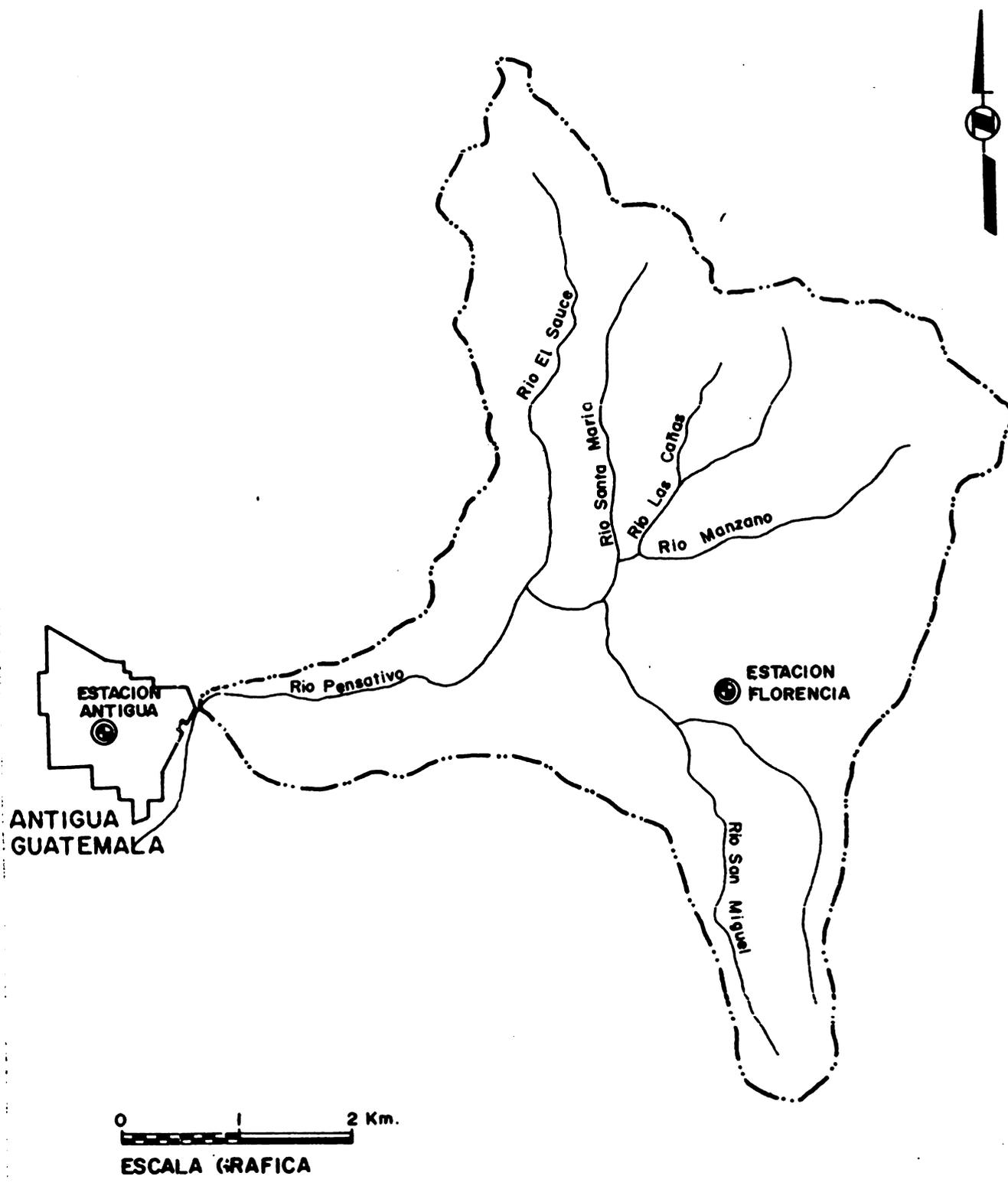
ESTACION	FRECUENCIA DE CADA MES											
	! MAY!	JUN!	JUL!	AGO!	SEP!	OCT!	NOV!	DIC!	ENE!	FEB!	MAR!	ABR!
FLORENCIA	! 1!	17!	7!	3!	11!	4!	0!	0!	0!	0!	0!	0!
(porcentaje)	! 2!	40!	16!	7!	26!	9!	0!	0!	0!	0!	0!	0!
	! !	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
ANTIGUA	! 1!	17!	7!	5!	20!	3!	0!	0!	0!	0!	0!	0!
(Porcentaje)	! 2!	32!	13!	9!	38!	6!	0!	0!	0!	0!	0!	0!
	!-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!

CUADRO 2

FRECUENCIA CON QUE OCURRIO LA PRECIPITACION MAXIMA DIARIA EN CADA MES

ESTACION	FRECUENCIA EN CADA MES											
	! MAY!	JUN!	JUL!	AGO!	SEP!	OCT!	NOV!	DIC!	ENE!	FEB!	MAR!	ABR!
FLORENCIA	! 1!	1!	2!	1!	4!	2!	0!	0!	0!	0!	1!	0!
(porcentaje)	! 8!	8!	17!	8!	33!	17!	0!	0!	0!	0!	8!	0!
	! !	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
ANTIGUA	! 2!	2!	2!	0!	9!	1!	0!	0!	0!	0!	1!	0!
(Porcentaje)	! 12!	12!	12!	0!	53!	6!	0!	0!	0!	0!	6!	0!
	!-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!	-----!

UBICACION DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS



GRAFICA No.2

Como puede observarse en el Cuadro 1, existe una marcada tendencia de la precipitación máxima mensual a presentarse en los meses de junio y septiembre, aunque en promedio, la precipitación durante el mes de septiembre es la mayor del año. En el Cuadro 2 de precipitación máxima diaria la tendencia no es tan marcada, e incluso aparece una tormenta máxima en marzo, cuando la época lluviosa no se ha iniciado. Esto significa que ambos eventos no tienen el mismo origen, en cuencas situadas como la del río Pensativo. Por una parte los grandes volúmenes de lluvia son precipitados debido al enfriamiento orográfico de las masas de aire húmedo durante la época de lluvia, mientras que eventos aislados tales como las tormentas máximas con duraciones de un día, pueden tener origen diferente. Es de esperarse que al conducirse análisis para duraciones menores, como el caso de una hora, arrojen resultados también diferentes, como ha sucedido en otros lugares de la república.

Como no existe estación hidrográfica en la cuenca que permita el análisis de los hidrogramas de crecidas, y tampoco existe estación pluviográfica que permita el análisis de los hietogramas que producen las crecidas, se hizo necesario un estudio con validez regional, para obtener cantidades de lluvia máxima, para duraciones menores de un día y su posible distribución en el tiempo, como dato de entrada al modelo de crecidas que se describirá mas adelante.

El análisis regional de tormentas se desarrollo de acuerdo a las siguientes etapas:

- a). Cálculo de la precipitación máxima diaria para la cuenca del río Pensativo.
- b). Estimación de la precipitación máxima en 24 horas para la cuenca.
- c). Estimación regional de la precipitación máxima para duraciones menores (alrededor de una hora).
- d). Cálculo de la precipitación máxima para duraciones menores para la cuenca.
- e). Obtención de hietogramas.

El cálculo de la precipitación máxima diaria para la cuenca del río Pensativo, se hizo en base a las series de precipitación máxima diaria de las estaciones Antigua y Florencia. La serie de precipitación máxima diaria de la estación Antigua fué revisada y complementada durante el desarrollo del trabajo, a partir del año hidrológico 1976/77 y hasta el año hidrológico 1985/86, directamente en la fuente.

El resto de la información de precipitación que se utilizó, fué obtenida de la referencia (6). En el Cuadro 3 se muestra el ordenamiento de la precipitación máxima diaria, para el análisis

de frecuencia de la estación Antigua, y en el Cuadro 4, la misma información para la estación Florencia. Debe aclararse que no se cuenta con los registros diarios completos de ambas estaciones, por lo que el número de datos no corresponde con el número de años de registro.

CUADRO 3

ORDENAMIENTO DE LA PRECIPITACION MAXIMA DIARIA

ESTACION: ANTIGUA

N	T	Prob	Precipitacion
1	18.0	0.06	120.0
2	9.0	0.11	89.0
3	6.0	0.17	80.0
4	4.5	0.22	74.0
5	3.6	0.28	72.0
6	3.0	0.33	62.0
7	2.57	0.39	55.0
8	2.25	0.44	54.0
9	2.00	0.50	50.0
10	1.80	0.56	49.0
11	1.64	0.61	47.0
12	1.50	0.67	46.0
13	1.38	0.72	44.0
14	1.29	0.78	42.0
15	1.20	0.83	40.0
16	1.125	0.89	37.0
17	1.06	0.94	36.0

$\bar{P} = 58.6 \text{ mm}$

$s = 22.2$

c.v. = 0.38

CUADRO 4

ORDENAMIENTO DE LA PRECIPITACION MAXIMA DIARIA

ESTACION: FLORENCIA

N	T	Prob	Precipitacion
1	29.00	0.03	125.0
2	14.50	0.07	115.0
3	9.70	0.10	106.0
4	7.25	0.14	105.0
5	5.90	0.17	88.0
6	4.83	0.21	85.0
7	4.14	0.24	84.5
8	3.62	0.28	78.0
9	3.22	0.31	77.0
10	2.90	0.34	75.0
11	2.64	0.38	68.5
12	2.42	0.41	67.0
13	2.23	0.45	65.3
14	2.07	0.48	61.5
15	1.93	0.52	60.0
16	1.81	0.55	56.0
17	1.71	0.59	47.0
18	1.61	0.62	45.5
19	1.53	0.66	45.0
20	1.45	0.69	44.5
21	1.38	0.72	40.0
22	1.32	0.76	40.0
23	1.26	0.79	39.0
24	1.21	0.83	38.0
25	1.16	0.86	36.5
26	1.12	0.90	32.5
27	1.07	0.93	30.0
28	1.04	0.97	17.0

$\bar{P} = 63.3$ mm

$s = 27.7$

c.v. = 0.43

En la Gráfica 3 se muestra el dibujo de los puntos de ambos ordenamientos y puede apreciarse la buena relación que guardan, lo cual sugiere que los eventos que representan tienen un origen similar. Los parámetros estadísticos también lo sugieren, sobre todo el promedio que es similar en ambas estaciones, aunque la desviación standard y por supuesto el coeficiente de variación son algo diferentes, aunque no radicalmente. La curva de la Gráfica 3, se adoptó como válida para la obtención de precipitaciones máximas diarias en la cuenca del río Pensativo.

La siguiente fase del trabajo fue la estimación de la precipitación máxima en 24 horas, que es el parámetro sobre el cual se basan las relaciones para duraciones menores. Como no existe pluviógrafo en la cuenca, que permita evaluar el valor de la relación entre la precipitación máxima en 24 horas y la precipitación máxima diaria, se adoptó un valor de 1.13, que se ha comprobado en algunas estaciones pluviográficas de Guatemala (7) y que además recomienda la Organización Meteorológica Mundial.

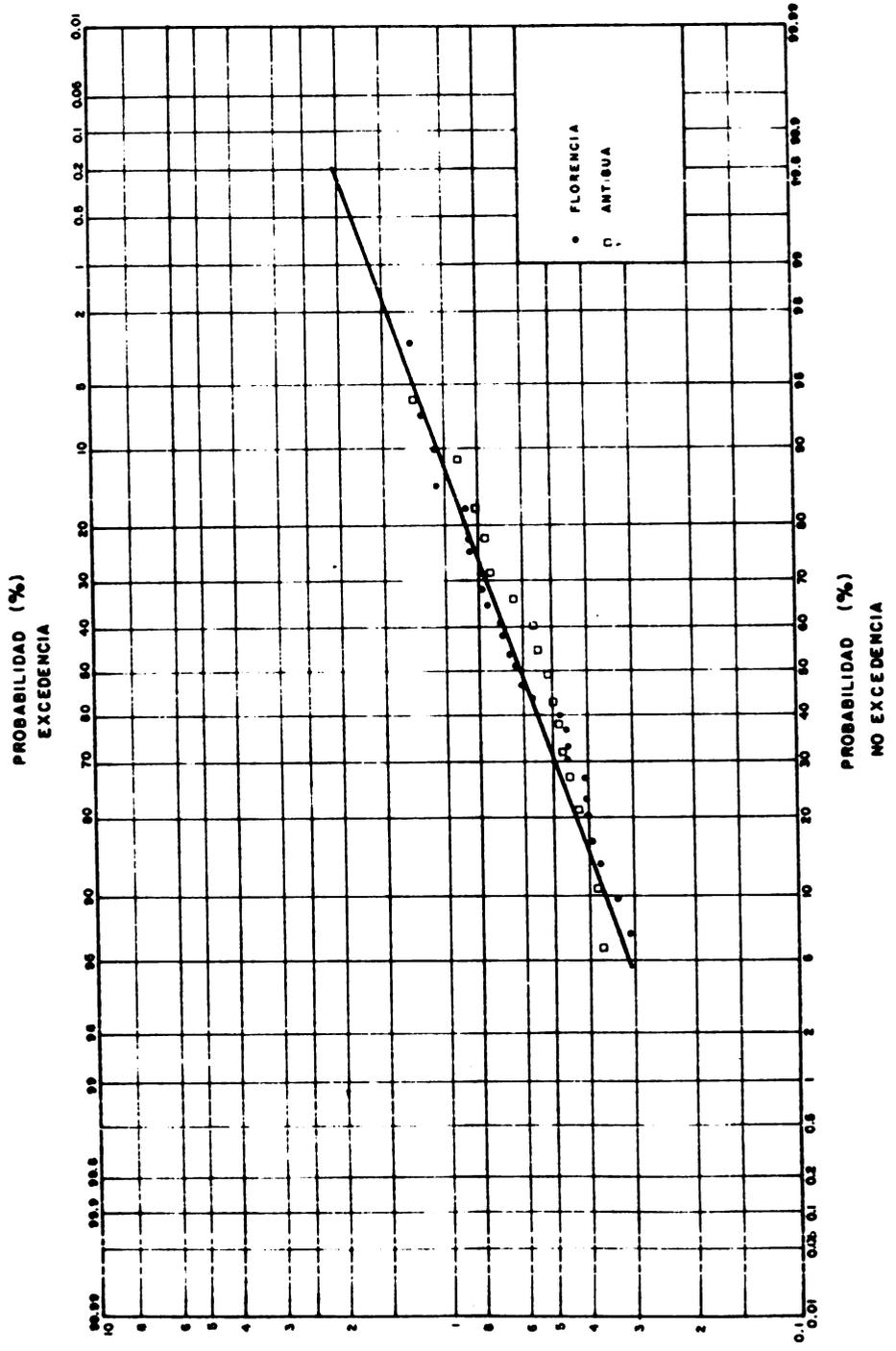
A continuación para la estimación regional de la precipitación máxima para duraciones de 24 horas, se utilizaron las series de precipitación máxima para duraciones de 1, 3, 6, 12, y 24 horas de 7 estaciones pluviográficas ubicadas en el altiplano del país. A las series de precipitación máxima de estas estaciones se les calculó el promedio, la desviación standard y el coeficiente de variación, que aparecen en el Cuadro 5.

En el Cuadro 5 vale la pena resaltar el hecho que el coeficiente de variación de todas las series varía relativamente poco, lo cual merece una atención especial, pues si el coeficiente de variación de una serie de precipitación máxima se conoce y es posible calcular el promedio de la misma serie, también es posible calcular la desviación standard. Una vez establecidos el promedio y la desviación standard es posible efectuar un análisis de frecuencia para esa serie. Un procedimiento de este tipo, vendría a facilitar la estimación de tormentas de diseño, en cuencas con similares condiciones meteorológicas.

Con base en los datos del Cuadro 5, se elaboró el Cuadro 6, que contiene los valores de la relación entre los promedios de las series de precipitaciones máximas para duraciones de 1, 3, 6, y 12 horas y el promedio de la serie de precipitación máxima en 24 horas.

Los resultados del Cuadro 6 se presentan en la Gráfica 4, en donde puede apreciarse la dispersión de los puntos. Es importante notar que la dispersión no es tan grande, sobre todo para las duraciones de 1 y 12 horas, excepto para algunas estaciones en particular. Esto puede deberse a errores en los datos, a condiciones meteorológicas especiales del sitio en que se encuentran las estaciones, ó bien a lo corto de las series analizadas.

**GRAFICA DE FRECUENCIA
PRECIPITACION MAXIMA DIARIA**



GRAFICA No. 3

CUADRO 5

PARAMETROS ESTADISTICOS DE LAS SERIES DE PRECIPITACION MAXIMA

ESTACION	24 horas		1 hora		3 horas		6 horas		12 horas	
	p	n c.v.	p	n c.v.	p	n c.v.	p	n c.v.	p	n c.v.
Molino La Sierra	45.41	12.71 0.28	20.84	7.07 0.34	31.17	9.37 0.30	36.41	9.54 0.26	40.10	11.49 0.29
Santa Cruz Balanya	58.29	24.07 0.41	25.24	8.87 0.35	36.57	10.25 0.28	45.59	14.03 0.31	50.88	19.13 0.38
Sabana Grande	157.21	52.97 0.34	76.60	18.90 0.25	116.73	26.39 0.23	126.01	26.24 0.21	135.76	37.11 0.27
Observatorio Nac.	63.19	22.34 0.35	33.20	11.29 0.34	48.94	16.44 0.34	56.83	20.33 0.36	73.50	26.57 0.36
Calderas	63.73	27.10 0.43	26.91	8.87 0.33	37.64	8.79 0.23	43.73	9.94 0.23	52.39	17.31 0.33
La Soledad	67.91	25.63 0.38	38.04	7.28 0.19	52.03	15.69 0.30	56.14	14.64 0.26	61.02	16.87 0.28
El Pino	76.94	32.75 0.43	38.83	11.12 0.29	51.28	12.94 0.25	59.16	15.92 0.27	68.76	26.36 0.38

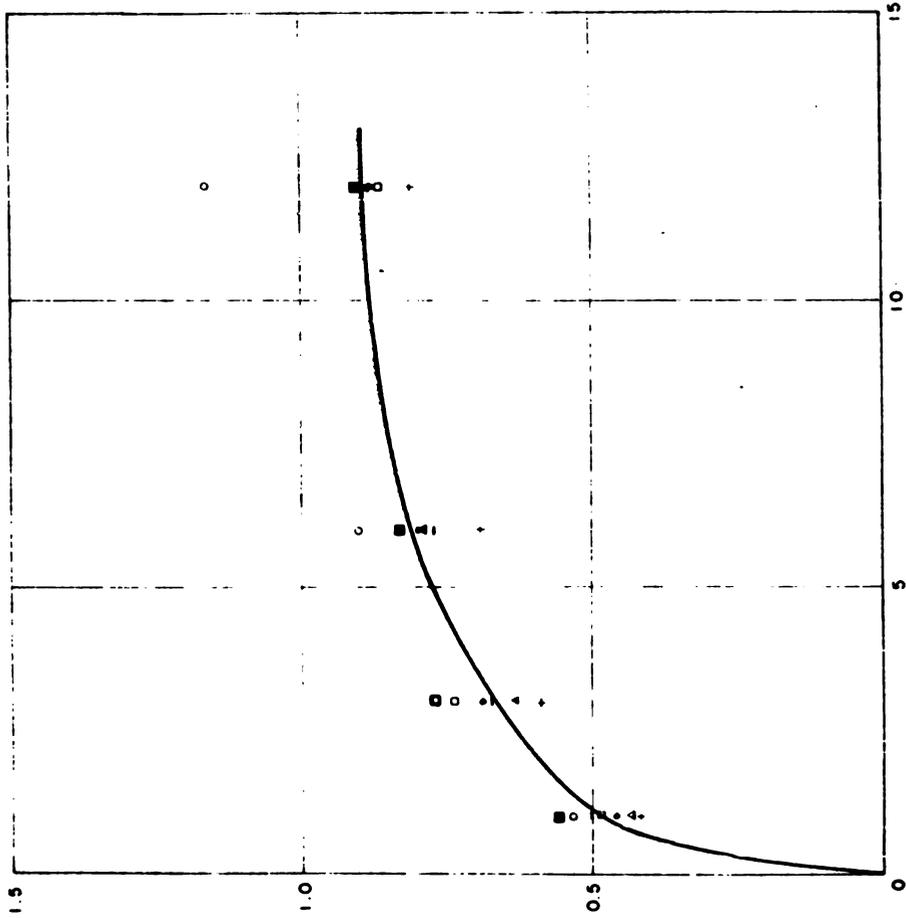
\bar{p} = Promedio de la serie

= Desviación Standard de la serie

c.v. = Coeficiente de variación

RELACION ENTRE LA PRECIPITACION MAXIMA PARA DISTINTAS DURACIONES Y LA PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

- MOLINO LA SIERRA
- △ SANTA CRUZ BALANYA
- SABANA GRANDE
- ◊ OBSERVATORIO NACIONAL
- + CALDERAS
- LA SCLEIDAD
- EL PINO



GRAFICA No. 4

La curva promedio de la Gráfica 4 se consideró válida para estimar la precipitación máxima para duraciones menores de 24 horas en la cuenca.

CUADRO 6

RELACION ENTRE LOS PROMEDIOS DE LAS SERIES DE PRECIPITACION MAXIMA PARA 1,3,6 Y 12 HORAS Y DE LA SERIE DE 24 HORAS

ESTACION	1 Hora	3 Horas	6 Horas	12 Horas
Molino la Sierra	0.46	0.69	0.80	0.88
Santa Cruz Balanya	0.43	0.63	0.78	0.87
Sabana Grande	0.49	0.74	0.80	0.86
Observatorio Nacional	0.53	0.77	0.90	1.16
Calderas	0.42	0.59	0.69	0.82
La Soledad	0.56	0.77	0.83	0.90
El Pino	0.50	0.67	0.77	0.89
Relacion Promedio	0.49	0.68	0.80	0.91

El procedimiento para obtener la precipitación máxima en la cuenca fue el siguiente:

a). De la Gráfica 3 se obtuvo la precipitación máxima diaria para 2, 5, 20, y 50 años de período de retorno.

b). Utilizando el coeficiente de relación entre la precipitación máxima en 24 horas y la precipitación máxima diaria, se estimó la precipitación máxima en 24 horas para cada período de retorno.

c). De la Gráfica 4 se obtuvieron los factores que relacionan la precipitación máxima para 30, 40, 50 y 60 minutos de duración, con la precipitación máxima en 24 horas.

d). Cada valor de precipitación máxima en 24 horas fué multiplicado por el factor respectivo para convertirla a precipitación máxima de la duración respectiva, lo cual se hizo para cada período de retorno.

En el Cuadro 7 se muestra la tabulación del cálculo de la precipitación máxima para distintas duraciones y períodos de retorno.

CUADRO 7

CALCULO DE LA PRECIPITACION MAXIMA PARA DISTINTAS DURACIONES Y PERIODOS DE RETORNO

PERIODO DE RETORNO	PRECIPITACION MAXIMA PARA CADA DURACION					
	1 DIA	24 HORAS	1 HORA	15 MINUTOS	10 MINUTOS	5 MINUTOS
	Gráfica 3	1*1.13	2*0.49	2*0.44	2*0.41	2*0.34
2 AÑOS	60	67.8	33.2	29.8	27.8	23.1
5 AÑOS	86	97.2	47.6	42.8	39.9	33.0
20 AÑOS	121	136.7	67.0	60.1	56.0	46.5
50 AÑOS	143	161.6	79.2	71.1	66.3	54.9

La última etapa del análisis de tormentas consistió en seleccionar algunos hietogramas, cuya distribución puede adaptarse a las condiciones de la cuenca.

Para esto se adoptaron los hietogramas incluidos en la referencia (8), que fueron deducidas para la estación Labor Ovalle, ubicada en una zona geomorfológica parecida a la de la cuenca del río Pensativo. Además se incluyó un hietograma para simular una tormenta uniformemente distribuída en el tiempo, tratando de reproducir de esta manera las condiciones de un evento ciclónico, muy común en el mes de septiembre. Los hietogramas adoptados aparecen en el Cuadro 8, expresados como porcentajes del total de la lluvia, en períodos de 5 minutos.

CUADRO 8

NIETOGRAMAS ADOPTADOS

PRECIPITACION POR PERIODOS EN PORCENTAJE TOTAL

TORRENTA DE	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
40 MINUTOS	14.8	8.4	3.5	11.2	25.7	6.4						
50 MINUTOS	7.4	4.9	7.4	11.8	12.3	15.5	12.5	12.8	7.9	7.6		
60 MINUTOS	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3

2.3.2 Modelo de Crecidas

Como ya se ha descrito, no existe en la cuenca información pluviográfica ni hidrográfica que permita hacer un análisis de las crecidas que vienen afectando a la ciudad de Antigua Guatemala. De tal manera que para su estudio, se optó por elaborar un modelo de la cuenca, que permitiera la simulación de las crecidas utilizando la mayor parte de las características físicas cuantitativas tales como área de las subcuencas principales, pendiente, longitud de escorrentía, longitud de los cauces principales, pendientes de los cauces, rugosidad del terreno, rugosidad de los cauces, tipo de suelos y uso y cobertura del suelo.

El programa seleccionado para modelar la cuenca, fue el HEC-1, que es el paquete de análisis de hidrogramas de crecidas del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejercito de los Estados Unidos de América. Una breve descripción del programa se incluye en el Anexo 1. Para modelar la cuenca, se optó por la opción de la onda cinemática incluida en el paquete. A continuación se describe la forma en que se obtuvo la información que utiliza el programa.

2.3.2.1 Topología de la Cuenca.

El primer paso para la modelación de la cuenca, fué subdividirla en subcuencas representativas de areas homogéneas, de tal manera que pudiera identificarse zonas críticas a partir de los resultados. En la Gráfica 5 aparecen las subcuencas en que se

dividió la cuenca, que en total son 11, de las cuales 8 representan áreas principales. El diagrama de flujo de la cuenca, se muestra en los resultados obtenidos de las corridas finales, donde se incluye la identificación numérica de las subcuencas.

2.3.2.2 Características de las Subcuencas.

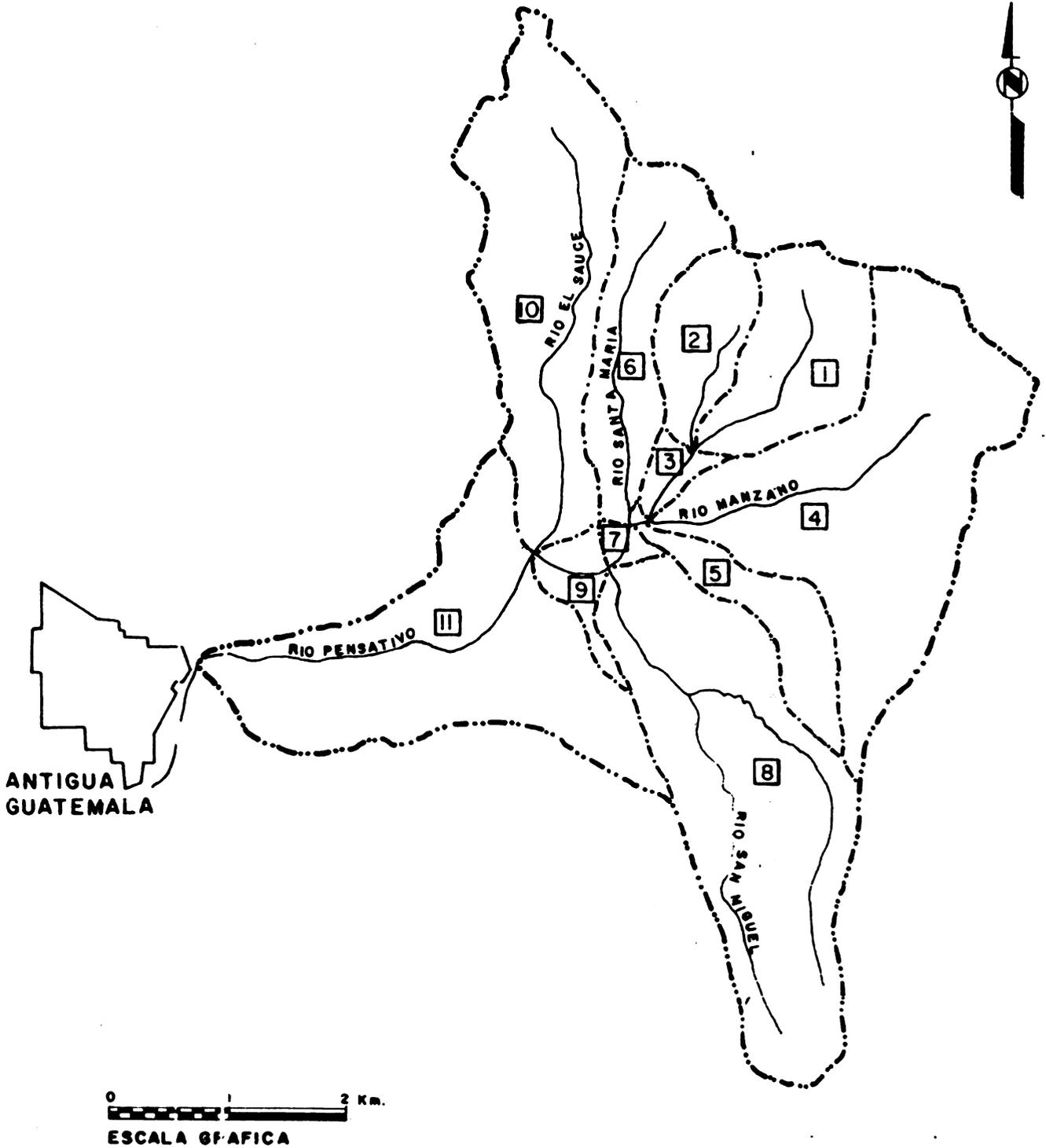
La primera característica de la subcuenca constituye la clasificación del uso del suelo, para lo que se utilizaron tres categorías. Las categorías que se consideraron de importancia desde el punto de vista hidrológico fueron bosque, cultivos y zonas impermeables, incluyéndose dentro de estas últimas las carreteras asfaltadas y las poblaciones. Debido a las características semiurbana de las poblaciones dentro de la cuenca, se consideró que únicamente el 40% del área de las poblaciones es impermeable. La fuente para la determinación cuantitativa de estas tres categorías en cada subcuenca, fue la Figura No.23 de la referencia (5).

La distancia que recorre la escorrentía superficial, fue determinada sobreponiendo el uso del suelo y las subcuencas, sobre un mapa topográfico 1:50,000 del área, para seguir la dirección del flujo. La pendiente del terreno fue calculada por muestreo de la pendiente, en las intersecciones de las coordenadas UTM de los mapas 1:50,000, que fue densificada a fin de obtenerse un muestreo mas representativo en las áreas pequeñas. El promedio de las pendientes de los puntos muestreados se tomó como la pendiente del área. El área de las subcuencas fue determinada por planimetría, de igual forma que el área que corresponde a cada uso.

El coeficiente de rugosidad de la superficie, fue asignado para cada área de acuerdo a los recomendados en la Tabla 3.5 de la referencia (9), de acuerdo al tipo de cobertura del suelo.

Las pérdidas por concepto de infiltración, se estimaron utilizando el método de número de curva del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, que esta contenido en el programa. Para asignar el número de curva, se consideraron básicamente tres variables que determinan el valor de las pérdidas. La cobertura del suelo, el tipo de condición en que se encuentra el terreno y la capacidad de infiltración del suelo, fueron los factores que se tomaron en cuenta en la selección. En términos generales se consideró que los suelos de la cuenca tienen una capacidad moderada de infiltración, (grupo de suelos B), las partes cubiertas por bosque tienen una condición hidrológica moderada, mientras que las áreas agrícolas se consideraron siguiendo aproximadamente curvas de nivel, en una buena condición hidrológica. Los aprovechamientos agrícolas en pendientes mayores, se consideraron en curvas de nivel en una pobre condición hidrológica. Además se agregaron los ajustes por condiciones de precipitación antecedente en promedio y para suelos saturados.

SUBCUENCAS DEL RIO PENSATIVO



En el Cuadro 9 se resumen los datos de las características de las subcuencas, considerando el uso actual del suelo, mientras en el Cuadro 10 se muestran los datos de las características de las subcuencas considerando que el suelo esta totalmente cubierto por bosque y solo existen las poblaciones y las carreteras.

CUADRO 9

CARACTERISTICAS DE LAS SUBCUENCAS CONSIDERANDO EL USO ACTUAL DEL SUELO
DATOS DEL PLANO DE FLUJO DE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL
(TARJETA UK)

SUBCUENCA	DISTANCIA ESC. SUPERF. (n)	PENDIENTE ESC. SUPERF. (n/n)	HANDING AREA		AREA NI BRENADA	NUMERO DE CURVA SCS POR CONDICION		
			(N)	NI		I	II	III
1 Bosque	670	0.502	0.40	0.900		60	70	90
1 Cultivos	300	0.502	0.10	0.752	1.700	75	80	95
1 Impermeable	--	--	--	0.136		--	--	--
2 Bosque	400	0.502	0.40	0.357	0.900	66	82	92
2 Cultivos	390	0.502	0.10	0.343		75	80	95
3 Bosque	120	0.750	0.40	0.294		73	87	95
3 Cultivos	150	0.750	0.10	0.069	0.319	79	90	96
3 Impermeable	--	---	--	0.006		--	--	--
4 Bosque	630	0.301	0.40	1.071		60	70	90
4 Cultivos	1200	0.301	0.10	3.659	4.900	75	80	95
4 Impermeable	--	---	--	0.170		--	--	--
5 Bosque	700	0.129	0.40	0.322		66	82	92
5 Cultivos	2300	0.129	0.10	0.601	1.000	75	80	95
5 Impermeable	--	---	--	0.005		--	--	--
6 Bosque	240	1.261	0.40	0.790		66	82	92
6 Cultivos	270	1.261	0.10	0.926	1.775	75	80	95
6 Impermeable	--	---	--	0.005		--	--	--
7 Bosque	100	1.000	0.40	0.100	0.100	73	87	95
8 Bosque	240	0.294	0.40	2.040		60	70	90
8 Cultivos	760	0.294	0.10	2.763	5.003	75	80	95
8 Impermeable	--	---	--	0.270		--	--	--
9 Bosque	330	0.500	0.40	0.115	0.175	73	87	95
9 Impermeable	--	---	--	0.060		--	--	--
10 Bosque	650	0.614	0.40	3.230		73	87	95
10 Cultivos	510	0.614	0.10	0.707	4.663	79	90	96
10 Impermeable	--	---	--	0.176		--	--	--
11 Bosque	830	0.477	0.40	4.190		66	82	92
11 Cultivos	1400	0.477	0.10	0.313	4.775	90	96	99
11 Impermeable	--	---	--	0.072		--	--	--

CUADRO 10

CARACTERISTICAS DE LAS SUBCUENCAS
 CONSIDERANDO REFORESTACION TOTAL
 DATOS DEL PLANO DE FLUJO DE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL
 (TARJETA UK)

SUBCUENCA	DISTANCIA ESC. SUPERF.	PENDIENTE ESC. SUPERF.	MANNING N	% AREA	AREA BRENADA	PERDIDAS		
						NUMERO	CURVA	SCS
						I*	II	III
1 Bosque	700	0.502	0.40	94	1.788	60	78	90
1 Imperneable	--	---	--	8		--	--	-
2 Bosque	320	0.582	0.40	100	0.900	66	82	92
3 Bosque	150	0.750	0.40	98	0.319	73	87	95
3 Imperneable	--	---	--	2		--	--	--
4 Bosque	675	0.301	0.40	97	4.900	60	78	90
4 Imperneable	--	--	--	3		--	--	--
5 Bosque	1170	0.129	0.40		1.008	66	82	92
6 Bosque	310	1.261	0.40	97	1.775	66	82	92
6 Imperneable	--	---	--	3	---	--	--	--
7 Bosque	180	1.000	0.40	100	0.108	73	87	95
8 Bosque	660	0.294	0.40	94	5.083	60	78	90
8 Imperneable	200	0.294	0.05	6		--	--	--
9 Bosque	350	0.500	0.40	66	0.175	73	87	95
9 Imperneable	--	---	--	34		--	--	--
10 Bosque	470	0.614	0.40	97	4.063	73	87	95
10 Imperneable	--	---	--	3		--	--	--
11 Bosque	875	0.477	0.40	98	4.775	66	82	92
11 Imperneable	--	---	--	2		--	--	--

2.3.2.3 Características de los Canales

Los canales por donde tránsito el flujo superficial, tienen propiedades hidráulicas muy diferentes que no pueden ser establecidas en un trabajo como este, pues esto requeriría gran cantidad de trabajo de topografía. Las características principales como la pendiente y longitud de los canales, se establecieron a partir de los mapas 1:50,000 del IGM y el coeficiente de rugosidad se seleccionó de acuerdo a los materiales observados frecuentemente en las secciones. Se asumió una forma trapezoidal para los canales y no se especificó ancho ni taludes, para que el programa pudiera calcular y transitar los hidrogramas, sin problemas de capacidad de las secciones. Los datos utilizados por el programa para describir los canales se muestran en el Cuadro 11.

CUADRO 11

**DATOS DE LOS CANALES
(TARJETAS RIO)**

SUBCUENCA	LONGITUD	PENDIENTE	MANIZING	AREA	FORMA	ANCHO	TALUDES	AFLUENTES
1	2.125	0.2165	0.03	1.778	TRAP	--	--	
2	1.125	0.1778	0.03	0.900	TRAP	--	--	
3	1.000	0.0600	0.03	0.319	TRAP	--	--	YES
4	2.350	0.0941	0.03	4.900	TRAP	--	--	
5	0.255	0.0704	0.03	1.000	TRAP	--	--	YES
6	2.750	0.1673	0.03	1.775	TRAP	--	--	
7	0.500	0.0000	0.03	0.108	TRAP	--	--	YES
8	4.275	0.1417	0.03	5.003	TRAP	--	--	
9	0.750	0.0400	0.03	0.175	TRAP	--	--	YES
10	3.950	0.1266	0.03	4.063	TRAP	--	--	
11	3.100	0.0323	0.03	4.775	TRAP	--	--	YES

2.3.3 Cálculo de Crecidas

Con la ayuda del modelo de la cuenca, se analizaron las condiciones bajo las que se generan las crecidas en la cuenca. El primer paso fue determinar el hietograma que produce las condiciones mas favorables para el desarrollo de crecidas. El trabajo consistió en correr el modelo con tres hietogramas distintos para duraciones de 40, 50 y 60 minutos, de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de precipitación. La precipitación seleccionada fué la de dos años de período de retorno. De acuerdo a los resultados del Cuadro 12, el hietograma crítico es el de 60 minutos de duración, por lo que fué el utilizado en el resto del trabajo.

CUADRO 12

**CAUDALES PICO PRODUCIDOS POR DISTINTOS HIETOGRAMAS
PERIODO DE RETORNO: 2 AÑOS**

HIETOGRAMA UTILIZADO	PRECIPITACION TOTAL (mm)	CAUDAL PICO (m ³ /seg.)
40 MINUTOS	27.8	9.42
50 MINUTOS	29.8	9.33
60 MINUTOS	33.2	12.41

La siguiente etapa en el proceso de análisis, fué correr el modelo para cantidades de precipitación con los períodos de retorno que se establecieron durante el análisis de precipitación. Además se corrió el modelo cambiando las condiciones de humedad antecedente de suelo seco, suelo saturado y condición media. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 13, para lo que se supusieron son las condiciones actuales de la cuenca.

CUADRO 13

**CAUDALES PICO PRODUCIDOS POR TORRENTAS CON DIFERENTES
PERIODOS DE RETORNO Y CONDICIONES DE HUMEDAD
(CONDICIONES ACTUALES)**

PERIODO DE RETORNO (Años)	PRECIPITACION (mm)	CAUDAL PICO		
		SUELO SECO	CONDICION NEBIA	SUELO SATURADO
2 AÑOS	33.2	12.41	53.46	114.48
5 AÑOS	47.6	39.97	121.40	213.01
20 AÑOS	67.0	101.01	243.41	358.26
50 AÑOS	79.2	158.76	329.75	445.80

ANEXO 1
DESCRIPCION DEL MODELO

La última actividad para el análisis de las crecidas, fue correr el modelo para las mismas condiciones indicadas en el párrafo anterior, cambiando únicamente el uso del suelo, considerando que la cuenca sería totalmente reforestada. Los resultados se muestran en el Cuadro 14.

CUADRO 14

CAUDALES PICO PRODUCIDOS POR TORMENTAS CON DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO Y CONDICIONES DE HUMEDAD ANTECEDENTE

PERIODO DE RETORNO (Años)	PRECIPITACION (mm)	CAUDAL PICO (m ³ /seg)		
		SUELO SECO	CONDICION HIEBA	SUELO SATURADO
2 AÑOS	33.2	2.52	22.82	74.75
5 AÑOS	47.6	12.31	68.96	133.73
20 AÑOS	67.0	47.16	138.83	294.18
50 AÑOS	79.2	83.04	234.24	384.98

En el Anexo 2 se incluyen dos corridas del modelo, una para una tormenta con dos años de periodo de retorno, bajo las condiciones actuales de uso del suelo y con condiciones de humedad antecedente de suelo seco. La segunda para la misma tormenta, considerando la cuenca reforestada y con suelo saturado.

Si bien el nivel que alcanzan las crecidas es el parámetro que realmente produce las inundaciones, no se consideró su estimación debido a que habría sido necesario un levantamiento topográfico del cauce, el cual estaba fuera de los alcances de este trabajo. Además por tratarse de un cauce inestable dragado continuamente, la estimación de niveles carece de importancia, en el sentido que el objeto del diseño será asegurar la capacidad de conducción del canal.

3. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados indican que las crecidas de la cuenca del río Pensativo pueden tener una amplia gama de magnitudes, de acuerdo a la tormenta que se tome y a las condiciones de humedad antecedente. Por lo tanto es muy importante determinar la magnitud de los eventos que puedan ocurrir a continuación de un evento que pueda alterar las condiciones de humedad antecedente del suelo, tanto en volumen, como con una separación temporal suficientemente pequeña para que la alteración sea válida. Es evidente que la cuenca es muy propicia a desarrollar crecidas, aun de tormentas de limitada intensidad. Todos los factores analizados durante el trabajo, ayudan al desarrollo de crecidas

pronunciadas, tal el caso de los factores morfométricos, que indican la existencia cercana de un estrato resistente, lo que limita el desarrollo de la cuenca, limita la infiltración y favorece la escorrentía superficial. Vale la pena mencionar además la forma de la cuenca, que por su tendencia a la redondez, favorece la confluencia en la salida de la cuenca, de los picos de las crecidas provenientes de otros cauces importantes, al mismo tiempo que el del cauce principal. Esto fué confirmado por los resultados del modelo, que da tiempos entre 0.92 y 1.00 horas para el tiempo que transcurre entre el inicio de la tormenta y el paso del pico de la crecida por el último punto de confluencia, antes de llegar al puente de entrada a la Antigua, para todas las subcuencas.

Los factores morfométricos son característicos de cuencas jóvenes en proceso de desarrollo, por lo que se encuentra sujeta a un proceso constante de erosión. Aunque la erosión ha sido limitada en el pasado, la meteorización y temperización de la roca, provee material erosionable, que es arrastrado por la escorrentía superficial en forma permanente. Sobre todo la curva hipsométrica muestra que si bien existen zonas planas en la parte alta, las laderas de estas son súmamente erosionables, por lo que aun estas zonas planas son y seguirán siendo fuentes de sedimentos.

En este ambiente físico se han construido poblaciones, carreteras y obras de ingeniería para lo que se ha eliminado la cobertura natural del suelo, se ha impermeabilizado el terreno y se ha dejado material suelto súmamente erosionable. En términos generales estas obras favorecen la formación de escorrentía superficial y por lo tanto también la erosión, pero ocupan una porción muy limitada de la cuenca, por lo que su efecto no debe ser muy pronunciado. Otro caso es el de los aprovechamientos agrícolas, para los cuales también se ha eliminado la cobertura original del terreno y aunque no en el grado de una zona impermeable, también favorecen la formación de escorrentía superficial y dependiendo del manejo y la vocación del suelo pueden producir cantidades importantes de sedimento. Como el área agrícola es la segunda en importancia después del bosque, tiene una influencia significativa en el cambio de la formación de escorrentía superficial y en la producción de sedimentos.

Los resultados del modelo confirman en gran medida las apreciaciones cualitativas anteriores, basadas en información recopilada durante el desarrollo del trabajo. Las corridas del modelo permitieron sacar las conclusiones que se enumeran a continuación:

1. La forma de la cuenca y la configuración del drenaje superficial, favorecen la formación de crecidas pronunciadas. Esto lo confirman los factores morfométricos y el tiempo que transcurre entre el inicio de la tormenta y los picos de las crecidas observados en los cauces principales.

2. Las condiciones de humedad antecedente tienen gran importancia en la formación de escorrentía superficial. Sin embargo debido a que estas condiciones dependen de un evento anterior, que probablemente no pueda presentarse cuando ocurran las tormentas máximas, limita la magnitud del evento. En efecto, la magnitud de una tormenta sujeta a la vez a que ocurra otra tormenta de cierta magnitud, dentro de un limitado espacio de tiempo, debe ser necesariamente menor a los valores estimados en este trabajo.

3. Basándose en las dos conclusiones anteriores, una tormenta con una intensidad baja, es decir con un periodo de retorno bajo, puede provocar una crecida muy grande, dependiendo de las condiciones de humedad antecedente en que se encuentra la cuenca en el momento de iniciarse la tormenta. Esta es la explicación de las frecuentes inundaciones que sufre la ciudad en septiembre, cuando no se esperan tormentas de gran intensidad, pero si con mucha frecuencia, lo que deja suficiente humedad en el suelo para producir grandes cantidades de escorrentía superficial.

4. Debido a lo limitado de la extensión que cubren las carreteras y zonas urbanas, las áreas impermeables no tienen gran importancia en la formación de la escorrentía superficial durante las crecidas, si se toma en cuenta que las crecidas importantes ocurren cuando el suelo se encuentra saturado. Sin embargo deben tener alguna importancia en la producción de sedimentos, puesto que no es necesario que el suelo este saturado para que formen escorrentía superficial.

5. Si bien el área agrícola no es muy extensa y en su mayor parte se ha desarrollado en zonas con esa vocación, contribuye significativamente a la formación de flujo superficial, pero es más importante su aporte al transporte de sedimentos. En tal virtud su transformación de uso a forestal o mejorar las prácticas agrícolas con técnicas de conservación de suelos, tendría un efecto benéfico importante sobre el régimen hidrológico en general.

Los resultados del modelo no pueden tomarse como estimaciones exactas de las crecidas, pues fueron muchas las asunciones y las estimaciones de parámetros desconocidos. Tal es el caso de las tormentas, cuyos totales de precipitación pueden variar si se miden en estaciones ubicadas en la cuenca, así como su distribución representada por los hietogramas. Resulta de mucha importancia que no se hayan hecho consideraciones al respecto de la magnitud que pueden alcanzar eventos sujetos a la ocurrencia de otro evento, si se toma en cuenta que las mayores tormentas con duración de una hora probablemente ocurran en forma aislada. Tampoco se consideró reducción de las tormentas por el área de la cuenca, ya que las precipitaciones máximas analizadas son puntuales, pero no existe certeza acerca de la magnitud de la reducción, por lo que esta se descartó. El concepto de número de curva para expresar las pérdidas de agua por infiltración, no es suficientemente preciso para definir las, sin embargo no existe

información para expresar cuantitativamente los tipos de suelo de la cuenca. Se estima que las pérdidas por infiltración están ligeramente subestimadas, lo que podría reducir en alguna medida las crecidas. Tampoco existe información cuantitativa con respecto a las prácticas agrícolas, por lo que estas se asumieron a partir de una visita al campo.

Sin embargo aun estimaciones precisas de los parámetros mencionados excepto el de la precipitación antecedente, no introducirían modificaciones apreciables a los resultados obtenidos del modelo, ni mucho menos modificarían la interpretación de estos resultados. Sin embargo al estudiar las tormentas que ocurren a continuación de otra capaz de saturar el suelo, la magnitud de estas seguramente se reducirá, de igual forma que las crecidas.

No se consideró necesario hacer una evaluación de las obras que se han construido en el cauce para prevenir las crecidas del río Pensativo, pues las obras son de tan escasa magnitud, que no tienen ningún efecto de laminación y es natural que se hayan azolvado rápidamente.

4. CONCLUSIONES

La información hidrométrica y meteorológica disponible de la cuenca es deficiente para hacer un estudio detallado de las crecidas que frecuentemente inundan la ciudad de Antigua Guatemala. Por lo anterior, este trabajo se planteó utilizando la mayor cantidad disponible de datos con respecto a la cuenca, que permitieran definir en mejor forma el medio físico en que se desarrollan las crecidas.

Tampoco existe suficiente información como para calcular con precisión algunos parámetros que utiliza el modelo, sobre todo las pérdidas y la forma de los canales.

Los parámetros morfométricos y la configuración del sistema de drenajes, son propios de cuencas con tendencia a desarrollar crecidas con picos pronunciados y de poco volumen. Estos mismos factores indican que la zona es geomorfométricamente muy joven, por lo que el proceso de erosión en la parte alta y media de la cuenca es muy activo.

La ciudad de Antigua Guatemala fué asentada en la planicie de inundación del río Pensativo y otros ríos menores, que aun no ha alcanzado su pleno desarrollo, por lo que bajo las condiciones ya descritas, es natural que el río transporte sedimentos de la parte alta y media de la cuenca y los deposite en su planicie de inundación, es decir en la ciudad.

La canalización del río alrededor de la ciudad disminuyó la pendiente del cauce hasta la confluencia con el río Guacalate, agravando el problema del depósito de sedimentos. Además el pobre diseño hidráulico del canal favorece la pérdida de

velocidad en la entrada de la ciudad, provocando la sobreelevación del nivel del agua, aumentando el peligro de inundaciones.

Las condiciones de humedad antecedente son determinantes para el desarrollo de crecidas en la cuenca, de tal manera que aun una tormenta pequeña puede provocar una crecida importante, si se produce cuando existe suficiente humedad en el suelo. En consecuencia es importante determinar la magnitud de las tormentas que pueden producirse en esas condiciones.

Las zonas impermeables en la cuenca no tienen mucha importancia en la formación de escorrentía superficial durante las crecidas, pues para que estas produzcan problemas en la ciudad, es necesario que el suelo se encuentre saturado, momento en el cual toda la cuenca estará produciendo aproximadamente la misma lámina de escorrentía superficial. Probablemente estas áreas tengan alguna importancia en la producción de sedimentos, pero no existen datos para poder evaluarla.

El área agrícola si tiene importancia en la formación de escorrentía superficial, debido a su extensión, características de los suelos y a las prácticas agrícolas. También debe contribuir significativamente a la producción de sedimentos, por las mismas razones.

La prevención de las inundaciones de la ciudad de Antigua Guatemala, es un problema que debe ser resuelto en forma integral. En primer lugar introduciendo prácticas de conservación de suelos y humedad y aumentando la cubierta vegetal en las zonas agrícolas de la cuenca, con el propósito de mejorar la relación del ciclo hidrológico, disminuyendo los picos de las crecidas y aumentando los caudales de estiaje. Además este tipo de prácticas reducirá la producción de sedimentos. Sin embargo, este tipo de acciones aliviará la situación, pero no la resolverá en definitiva, por lo que además deberá construirse obras de ingeniería para laminación de las crecidas y asegurar la capacidad de los canales mediante el dragado. Las acciones mencionadas al principio del párrafo, reducirían el volumen de las obras, su mantenimiento y el nivel de dragado de los canales.

La cuenca va a seguir produciendo sedimentos por lo que deben protegerse las zonas con altas pendientes para reducir la erosión y en el caso de construirse alguna obra, considerar la evacuación de sedimentos.

Las obras y acciones emprendidas para aliviar la situación, no han tenido éxito porque no se ha considerado la magnitud de los eventos, ni las condiciones del medio físico en las que se desarrollan. En este sentido, el manejo de la cuenca puede disminuir la producción de sedimentos y el pico de las crecidas y aunque puede mejorarse este aspecto, la cuenca seguirá produciendo sedimentos y las crecidas seguirán siendo pronunciadas. Los embalses construidos tienen volúmenes de

almacenamiento muy pequeños, lo cual incluso puede resultar negativo al llenarse durante una crecida. Por último las obras de encauzamiento del río sirven únicamente durante el estiaje, pero en crecidas, su efecto es nulo.

5. RECOMENDACIONES

Debe mejorarse la red de estaciones meteorológicas (de precipitación), colocando por lo menos un pluviógrafo dentro de la cuenca y asegurarse de su buen funcionamiento. En el caso de no poder instalarse una estación hidrométrica, por la inestabilidad del cauce del río Pensativo, deben hacerse levantamientos después de cada crecida importante para estimar los picos de estas.

Para reducir los picos de las crecidas, reduciendo la escorrentía superficial, es indiscutible que el mayor efecto se tendría introduciendo prácticas de conservación de suelos y humedad y mejorando la cubierta vegetal de la cuenca. Por lo que se recomienda introducir prácticas de conservación de suelos y retención de humedad en todas las áreas agrícolas, taludes de carreteras e incluso en algunas áreas de bosque. Estas acciones reducirían los picos de las crecidas, el transporte de sedimentos y mejorarían la relación del balance hidrológico en beneficio de los caudales de estiaje. Este tipo de acciones reduciría el volumen necesario de almacenamiento, el mantenimiento de los embalses y el dragado del cauce.

Para resolver el problema de las inundaciones de la ciudad de Antigua Guatemala, debe pensarse en construir obras en el cauce que laminen los picos de las crecidas. En este caso se considera que los embalses constituyen la mejor alternativa. Estos embalses pueden diseñarse de acuerdo a varias concepciones. La primera podría ser un embalse mayor para laminar las crecidas de los cauces principales. Otra podría ser construir uno ó varios embalses para retardar los picos de las crecidas y evitar que estos ocurran simultáneamente. Como se puede prever que la cuenca seguirá produciendo sedimentos, los embalses deberán estar provistos de amplias descargas de fondo permanentemente abiertas, por donde saldrán caudales limitados y para drenar los sedimentos. De esta manera se puede reducir a un mínimo el mantenimiento de los embalses, pero el sedimento será arrastrado hacia aguas abajo, por lo que siempre será necesario, el dragado del canal. Debe estudiarse el sitio en que se dispondrán los sedimentos dragados, con el propósito de que no sean depositados en la orilla del canal y vuelvan a reducir su capacidad de conducción.

Al conocerse el caudal laminado, debe hacerse un diseño hidráulico apropiado del canal que permita la circulación del flujo sin favorecer las pérdidas hidráulicas y garantizar mediante el dragado su capacidad de descarga.

Como no existe información precisa para el diseño de estos

embalses, y si se desea mejorar los resultados obtenidos del modelo, se necesita la siguiente información, además de la contenida en la primera recomendación:

1. Definir perfectamente el plan de manejo de la cuenca.
2. Definir en un mapa los sistemas de drenaje de la cuenca, incluyendo carreteras y poblaciones.
3. Realizar pruebas de infiltración para determinar cuantitativamente su valor en el terreno.
4. Definir en forma precisa las prácticas agrícolas que se utilizan ó se planea utilizar en la cuenca.

Estos datos permitirían estimar en mejor forma la lluvia en la cuenca y definir de una manera mas precisa el medio en que se desarrollan las crecidas, de tal manera que tengan la suficiente confiabilidad, para ser utilizados en el diseño de las obras.

6. RESPONSABILIDAD INSTITUCIONAL

6.1. Instituciones Involucradas

De acuerdo a las características del problema y la solución delineada en este documento, a continuación se proporciona una lista de instituciones involucradas, así como de los objetivos generales y acciones específicas de la competencia de cada una de ellas que atañen el problema:

Del Sector Público Agropecuario y de Alimentación (SPADA):

Unidad Sectorial de Planificación Agropecuaria y de Alimentación (USPADA):

Formula y evalúa la política a corto plazo del sector agrícola, conforme la política definida por el Gobierno de la República y los lineamientos contenidos dentro del Plan Nacional de Desarrollo; asimismo la programación, evaluación y control presupuestario de las dependencias del SPADA.

Dirección General de Servicios Agrícolas (DIGESA):

Responsable de la programación, organización, ejecución, evaluación y control de los programas de producción y servicios agrícolas, así como de llevar a conocimiento de los agricultores la tecnología y propósitos de la política general de desarrollo agrícolas del Estado.

Dentro de sus acciones específicas:

-Acciones que garanticen la preservación y fomento de los recursos naturales renovables (excepto lo que compete a INAFOR).

-Conservación de Suelos y miniriego.

Dirección Técnica de Riego y Avenamiento

Responsable de los recursos agua y suelo, así como formular y aplicar medidas pertinentes para garantizar su aprovechamiento y conservación; proponer la reglamentación pertinente para el aprovechamiento del recurso agua y suelo; presentar estudios para evaluar, conceder, denegar, cancelar, remover, transferir y supervisar la consecución del uso y aprovechamiento de recurso agua y suelo.

Acciones específicas:

-Habilitación y nivelación de tierras agrícolas y asesoría en materia de conservación de suelos.

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA)

Generar y promover el uso de la ciencia y tecnología agrícola. En virtud le corresponde desarrollar toda clase de investigaciones tendientes a buscar soluciones apropiadas a los problemas que inciden en la productividad agrícola, así como promover a nivel de agricultor, con el fin de contribuir al desarrollo rural regional que determina el SPADA.

Acciones específicas

Manejo de Suelos.

Instituto Nacional Forestal (INAFOR)

Centralizar todos los organismos que participan en la ejecución de las actividades forestales en una sola institución. Establecer el patrimonio forestal de la nación como fuente de información básica para planificar el desarrollo forestal. Hacer un óptimo aprovechamiento de los recursos forestales en forma coordinada con los planes nacionales de desarrollo. Impulsar la conservación y restauración de los recursos naturales renovables. Promover investigaciones técnicas y científicas que tiendan al desarrollo forestal e industrial del país.

Acciones específicas:

-Cooperar con el INDE y otras instituciones y dependencias gubernamentales en la conservación y mejoramiento de las cuencas hidrográficas.

-Ejecutar programas de forestación y reforestación a fin de restaurar los recursos naturales renovables en todo el territorio nacional e incrementar la producción de materia prima forestal.

Del Ministerio de Energía y Minas:

Realizar las acciones para lograr el control nacional y la coordinación para el desarrollo del potencial energético de Guatemala, en el uso de las fuentes nuevas y renovables de energía en los sectores rurales del país, a través de la elaboración y recomendación de políticas, su fomento, control, supervisión y fiscalización.

Entidades de la Presidencia de la República:

Secretaría General del Consejo Nacional de Planificación Económica (SEGEPLAN):

Orientar, proyectar y coordinar el desarrollo económico nacional, teniendo como normas fundamentales, el aprovechamiento integral de los recursos del país y el mantenimiento de condiciones de estabilidad evitando interferencias y duplicidad de esfuerzos.

Del Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas:

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología:

La aplicación del conocimiento de los fenómenos sismológicos, vulcanológicos, meteorológicos e hidrológicos de la república de Guatemala, con el fin de que se pueda planificar la explotación adecuada de los recursos naturales del país.

Dirección General de Caminos:

Construcción, reparación y mantenimiento de las vías de la ciudad de Guatemala y de las carreteras, caminos de penetración y puentes en el interior del país. Obras de protección, erigiendo gabiones y dragado de los ríos y canales que lo ameritan con el propósito de evitar inundaciones que pudieran dañar carreteras, poblaciones, cultivos, etc. aledañas a las mismas.

Otras entidades:

Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)

Formación del recurso humano a nivel de educación superior.

Acciones específicas

Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA), que promueve y realiza la investigación de los campos de producción agrícola y de los recursos naturales renovables del país.

6.2 Acciones en Ejecución

A partir de 1985 esta en ejecución el Proyecto de Conservación de la Cuenca del Río Pensativo, con la participación de la Coordinadora Interinstitucional Departamental de Sacatepequez y de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, por

medio del Instituto de Investigaciones Agronómicas. El objetivo del Proyecto es promover y contribuir a la conservación de la Cuenca del río Pensativo, para lo cual se realizan las siguientes actividades:

Conservación de Suelos

Conservación de la Cubierta Forestal Existente.

Construcción de estructuras en las carreteras para el manejo del agua de escorrentía y el manejo de los sedimentos depositados en la parte baja de la cuenca.

Proporcionar asesoría agrícola y pecuaria.

Proveer asistencia médico-sanitaria a las comunidades de la cuenca.

Como acciones que han tenido algún impacto en la cuenca deben destacarse, en primer lugar, las actividades de conservación de suelos y de protección de la cubierta vegetal, la construcción de algunas obras dentro del cauce del río y el dragado de sedimentos de la parte baja del cauce.

En este sentido debe mencionarse que en cuanto a conservación de suelos y protección de la cubierta vegetal, las actividades pueden reforzarse a fin de cubrir toda la cuenca y obtener el máximo beneficio, en cuanto a reducción del aporte de sedimentos y mejorar la situación del balance hidrológico. Debe mencionarse que a pesar del proyecto, el área de bosque se ha reducido en los últimos años.

En cuanto a la construcción de obras dentro del cauce, las presas que se han construido son de una magnitud muy limitada, por lo que actualmente se hayan completamente llenas de sedimentos y no cumplen ninguna función dentro del proceso de laminación de crecidas y captura de sedimentos. Estas presas eventualmente podrían representar un peligro, si llegaran a fallar debido al proceso de erosión que es normal al pie de las presas. Por otra parte, las obras de encauzamiento han cumplido parcialmente su función, pero se observa peligro de deslizamientos de la carretera en algunos tramos, donde el río corre paralelo a ella, pues las crecidas superan abundantemente su capacidad de encauzamiento.

La remoción de sedimentos del cauce mediante el dragado, se considera que es la acción que en mayor escala ha contribuido a evitar las inundaciones de la ciudad, o por lo menos a reducir el peligro y los volúmenes de agua que se derraman. En virtud de las características geomorfológicas de la cuenca, es de esperarse que la cuenca siga produciendo sedimentos en cantidades apreciables y que estos sean depositados en la parte del cauce donde el río reduce su pendiente. Este proceso continuará reduciendo la capacidad de conducción hidráulica del cauce, por

donde el río reduce su pendiente. Este proceso continuará reduciendo la capacidad de conducción hidráulica del cauce, por lo que el dragado continuará siendo necesario, aunque se logre alcanzar la situación ideal en el uso de la tierra.

7. RECOMENDACIONES PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

En virtud de los resultados del trabajo, existen varias alternativas dependiendo de la intención que se tenga para la solución del problema. De acuerdo a este concepto, este capítulo se ha dividido en dos partes que incluyen, en primer lugar los datos y estudios adicionales que se requieren para un análisis completo del fenómeno que provoca las inundaciones de la ciudad de Antigua Guatemala. Por otra parte se incluyen aquí las acciones a corto y largo plazo que se han tomado para mitigar el problema y las recomendadas para su solución. Debe recalcarse el hecho que no existe una solución sencilla para el problema y que la mejor solución debe ser integral, protegiendo la cuenca para mejorar la relación del ciclo hidrológico (disminuyendo picos de crecidas y aumentando el caudal de estiaje) y reducir la producción de sedimentos.

7.1. Datos y Estudios Adicionales

Evidentemente no existe en la actualidad información completa para evaluar las crecidas que provocan las inundaciones de la ciudad y por lo tanto tampoco puede realizarse una evaluación completa del fenómeno. En virtud de lo anterior, se hace necesaria la obtención de datos de tormentas y de caudales, que permitan conocer la magnitud real de las crecidas. Se hace necesaria la instalación de por lo menos una estación pluviográfica cercana al centroide de la cuenca, que podría ser la estación Florencia que ya se encuentra funcionando. En este sentido, el INSIVUMEH tiene un programa de instalación de estaciones en la cuenca, que dará una cobertura apropiada de información pluviométrica a la cuenca. Sin embargo debe tenerse especial cuidado en el funcionamiento continuo de las estaciones, con el propósito de no perder valiosa información.

De igual manera se hace necesaria la instalación de una estación hidrométrica, que por las características del río debe diferir del concepto tradicional de las estaciones, para evitar su destrucción. Si esto no fuera posible, por lo menos debe realizarse levantamientos topográficos de algunas crecidas, que permitan confirmar los resultados que se obtengan del modelo.

Como el fenómeno de saturación del suelo parece ser el proceso crítico en la formación de las crecidas, deben realizarse pruebas de infiltración en las partes de la cuenca con características especiales. Las áreas en que se hagan las pruebas, deben tener relevancia dentro de la cuenca, en cuanto a uso del suelo, tipo de suelo y extensión. El resultado debe ser la obtención de curvas de capacidad de infiltración en función del tiempo y del período necesario para su recuperación una vez finalizada la

carga, de las areas mas significativas de la cuenca.

Para completar los datos que necesita el modelo, debe conducirse un estudio de precipitación, para determinar la magnitud de las tormentas que pueden ocurrir a continuación de otra tormenta capaz de saturar el suelo de la cuenca. La razón es que las inundaciones ocurren durante el mes de septiembre, cuando probablemente no se presenten las precipitaciones mas intensas de la duración que nos interesa, pero si son mas frecuentes y de mayor duración. Este estudio podría formar parte de un trabajo como el presente, que ademas incluiría las corridas finales del modelo, integrando los otros resultados de las investigaciones

Para reducir la producción de sedimentos, debe conducirse un estudio sobre las areas que en mayor cantidad aportan sedimentos, con el propósito de priorizar las areas a las que debe darsele mayor atención dentro del plan de manejo de la cuenca.

Es necesario efectuar los estudios de topografía y geología para localizar los sitios mas adecuados para la construcción del o los embalses.

Por último existe cierta incertidumbre en cuanto a la red de drenajes de la cuenca, por lo que sería deseable el levantamiento de los cauces o drenajes por donde circula el agua, especialmente en las zonas urbanas y en las carreteras.

7.2. Acciones Recomendadas

7.2.1. Acciones Recomendadas a Corto Plazo

Las acciones que pueden emprenderse en la cuenca con el propósito de reducir el peligro de inundaciones de la ciudad de Antigua Guatemala, son básicamente reforzar y dar mayor agilidad a las actividades del Proyecto de Protección de la Cuenca del Rio Pensativo. Debido a la importancia que este aspecto tiene en el desarrollo ulterior del problema, se proponen las siguientes acciones, que pueden desarrollarse en forma inmediata:

1. Definir perfectamente el plan de manejo de la cuenca, que consiste en limitar el desarrollo de los diferentes usos que se le pueden dar al suelo, y el tipo de prácticas culturales a desarrollarse en las areas agrícolas, tomando en cuenta la importancia de introducir prácticas conservacionistas de suelo y humedad y mejoramiento de la cubierta vegetal, por su efecto sobre el problema. La elaboración de este plan es sumamente importante, para determinar las condiciones hidrológicas en que se diseñaron las obras de protección y que estas no cambien con el tiempo, como normalmente ocurre. Debe ponerse especial énfasis en limitar el desarrollo urbano, porque tiende a impermeabilizar el terreno, favoreciendo la formación de escorrentía superficial. Si bien esta es una actividad básicamente técnica, no deben perderse de vista los aspectos prácticos y sobre todo legales, que hagan que este plan sea

ejecutable. La elaboración del plan es una tarea multidisciplinaria, lo que debe tomarse en cuenta al seleccionar a la entidad o grupo que lo diseñará.

2. Como consecuencia de la acción anterior, debe procederse a reforestar las áreas de la cuenca que tengan esa vocación, sin perder de vista los aspectos legales y prácticos de esta labor. No debe esperarse un mejoramiento radical de las condiciones de la cuenca en este sentido, pues se prevee que en términos prácticos las áreas que pueden ser reforestadas son muy pequeñas. Sin embargo es muy importante que la cubierta de bosque no continúe disminuyendo.

3. En las áreas que se encuentran bajo uso agrícola debe mejorarse las prácticas, extendiendo las técnicas de conservación de agua y suelo a todas las zonas agrícolas dentro de la cuenca donde aun no se ha introducido. Como el área agrícola es la segunda en importancia después del bosque, es de esperarse un mayor grado de impacto de esta acción. Es importante hacer notar que por las características geomorfológicas ya mencionadas, la cuenca esta sujeta a un proceso continuo y muy acentuado de erosión, por lo que las técnicas de conservación que se apliquen deben adaptarse a estas condiciones.

4. Debe continuarse con el dragado del cauce del río en la parte donde disminuye su pendiente. Como ya se ha mencionado la cuenca seguirá produciendo sedimentos en cantidades considerables y depositandolos en esa zona, por lo que para evitar que el cauce pierda su capacidad de conducción y el río inunde la ciudad con mayor frecuencia, debe removerse los sedimentos hasta proveer al río de la capacidad hidráulica que indiquen los estudios.

7.2.2. Acciones Recomendadas a Largo Plazo

Como ya se mencionó la protección de la cuenca únicamente, no podrá solucionar el problema de las inundaciones de la ciudad, por lo que se propone la construcción de embalses con este propósito. Sin embargo, el diseño de tales obras debe esperar a que se complete la información básica, en la forma que se ha mencionado en el desarrollo del trabajo y de acuerdo a la priorización de actividades contenidas en el último capítulo de este informe. Por lo tanto, su diseño y construcción dependen de la agilidad con que se obtengan los datos que hacen falta, para no incurrir en errores de diseño que seguramente resultarían muy costosos. El concepto de diseño podría variar, dependiendo de los estudios hidrológicos, entre presas de laminación (una ó varias), o bien presas para retardar el paso de los picos de las crecidas en los cauces principales (también una ó varias). En el caso de optarse por un solo embalse de laminación, este estaría ubicado aguas abajo y en la cercanía de la confluencia de los cauces principales, es decir los rios El Sauce, Las Cañas y San Miguel, para captar la escorrentía de la cuenca completa. De optarse por uno ó mas embalses para retrazar la ocurrencia de uno ó mas picos con el propósito de evitar la simultaneidad, los

embalses estarían ubicados aguas arriba de la confluencia de los mismos rios, siempre cercanos a este punto. Su ubicación definitiva dependerá del volumen de la crecida de diseño y de una posterior investigación topográfica y geológica. Las presas deberán estar provistas de desagües de fondo, que durante las crecidas desaguarán alguna cantidad de flujo, para evitar que se llenen muy rápidamente y reducirán el volumen necesario de almacenamiento. Los desagües también reducirán el mantenimiento de los embalses, pues parte del sedimento será arrastrado a través de ellos.

Como una acción que prevee deberá realizarse a largo plazo, debe considerarse el mantenimiento de los embalses, por lo que su localización también dependerá de la accesibilidad del sitio escogido. Por último el dragado del cauce del rio seguirá siendo necesario, debido a las condiciones especiales de la cuenca. La institución responsable de las acciones a largo plazo deberá ser la Dirección General de Caminos, tanto de la construcción de las obras que se planeen dentro del cauce, como del dragado del cauce y mantenimiento de las mismas.

8. PRIORIZACION DE ESTUDIOS Y ACCIONES RECOMENDADAS

De acuerdo al desarrollo del trabajo existen una serie de estudios y acciones necesarios para resolver el problema de las inundaciones de la ciudad de Antigua Guatemala. A continuación se presenta una lista de estudios y acciones de acuerdo al orden en que deberán irse desarrollando.

Datos y estudios adicionales

1. Instalación de estaciones pluviométricas y meteorológicas
2. Estudio de capacidad de infiltración.
3. Estudio de Precipitación y Precipitación antecedente.
4. Estimación final de crecidas y volúmenes necesarios de almacenamiento.
5. Diseño hidráulico del canal para conducir el rio Pensativo.
6. Estudio para identificar las áreas que aportan mayor cantidad de sedimentos.
7. Estudio topográfico y geológico para localizar sitios de presa.

Acciones Recomendadas a Corto Plazo

Dentro del marco de apoyo al Proyecto de Protección de la Cuenca del Rio Pensativo, se recomiendan las siguientes acciones:

1. Elaborar el Plan de Manejo de la Cuenca

2. Introducir o mejorar las prácticas de conservación de suelos y humedad que se utilizan y mejorar la cubierta vegetal de la cuenca.

3. Continuar con el dragado del cauce.

Acciones Recomendadas a Largo Plazo

1. Continuar con el dragado del cauce.

2. Construcción de embalses de laminación de avenidas.

REFERENCIAS

1. Galicia Díaz, Julio. Destrucción y Traslado de la Ciudad de Santiago de Guatemala. Editorial Universitaria. Guatemala, 1976.
2. Instituto de Antropología e Historia de Guatemala. Qué es el IDAEH. Instituto de Antropología e Historia de Guatemala, Guatemala. 1986.
3. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Estudio Morfométrico de la Cuenca del Río Pensativo. Guatemala. Documento Inédito. Sin Fecha.
4. Instituto Geográfico Nacional. Mapa Geológico. Guatemala: Instituto Geográfico Nacional, 1970
5. Cabrera Gaillard, Claudio Rafael. Caracterización de los Recursos Naturales Renovables de la Subcuenca del Río Pensativo. Tesis Ing. Agr. Guatemala: Universidad de San Carlos, 1986.
6. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Evaluación Cuantitativa de Riesgos de Desastres por Ciclones Tropicales en la República de Guatemala. Guatemala: INSIVUMEH, 1977.
7. Instituto Geográfico Nacional. Estudio Integral de los Recursos Hidráulicos del Departamento de Escuintla. Guatemala: IGN, 1974.
8. Instituto de Fomento Municipal. Sistema de Recolección, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de Quetzaltenango. Plan General. Informe Final. Cerdón y Mérida Ingenieros/Camp Dresser&McKee Inc. Guatemala Mayo de 1986.
9. The Hydrologic Engineering Center. HEC-1 Flood Hydrograph Package. Users Manual. U.S. Army Corps of Engineering, The Hydrologic Engineering Center. Davis California, September 1981 (revised 1985).
10. Muñoz C., Alvarado G., Rodríguez C. Informe de la Asesoría Sobre el Diagnóstico de los Aspectos Institucionales en el Manejo de Cuencas. Guatemala CATIE, 1987

El paquete de análisis de hidrogramas de crecidas HEC-1 (flood hydrograph package).

1. Introducción

El HEC-1 es el paquete de análisis de hidrogramas de crecidas, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos para ese propósito.

A continuación se da una breve descripción de las posibilidades que ofrece el programa, así como su organización:

a) Debe proporcionarse al programa los componentes físicos de la cuenca y el sistema de canales que se trata de modelar.

b) Simulación del proceso precipitación-escorrentía.

c) Optimización de los parámetros del modelo de precipitación-escorrentía.

d) Análisis múltiple de crecidas, que permite la simulación de hasta nueve crecidas, para hasta cinco planes diferentes (ó caracterizaciones) en una sola corrida.

e) Simulación de falla de embalses, que proporciona la posibilidad de analizar las consecuencias de rebalse ó falla estructural de un embalse.

f) La opción de altura precipitación-área, calcula hidrogramas de crecida conservando una relación altura de precipitación-área proporcionada por el usuario.

g) Análisis económico de los daños por inundaciones en tramos determinados.

h) Determinación del tamaño óptimo de un sistema de control de crecidas, utilizando los datos del análisis económico y de los costos de construcción del proyecto de control de crecidas.

2. Asumpciones Teóricas y Limitaciones

La cuenca se presenta por medio de una serie interconectada de subáreas. Se asume que el proceso hidrológico puede ser representado por medio de los parámetros del modelo que reflejan las condiciones promedio dentro de cada subcuenca. Si estos promedios no son apropiados para una subcuenca, sería necesario considerar áreas mas pequeñas, en las cuales sean válidos los parámetros promedio. Los parámetros del modelo representan promedios temporales y espaciales. Entonces el intervalo de tiempo seleccionado debe ser suficientemente pequeño, para que sean aplicables los promedios en el intervalo de cálculo.

El programa tiene limitaciones importantes. Las simulaciones se limitan a una sola tormenta, debido a que no se considera la recuperación de la capacidad de infiltración durante los períodos en que no se produce precipitación.

Los resultados del modelo se dan en términos de caudales y no niveles de agua, a pesar que los niveles pueden ser impresos utilizando una curva de descarga dada. Puede utilizarse un programa hidráulico (por ejemplo el HEC-2) para obtener niveles. Para el tránsito de los hidrogramas se utilizan métodos hidrológicos, que no reflejan exactamente los principios de las ecuaciones de St. Venant. El tránsito en embalses se basa en las técnicas de pulso modificado, que no son apropiadas en embalses, cuyas compuertas se abren para reducir crecidas aguas abajo.

3. Descripción del Programa

Este programa está diseñado para simular la respuesta del flujo superficial de una cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos. A continuación se hace una descripción de los componentes del programa que interesan, la que naturalmente no es una descripción detallada de la capacidad del programa.

3.1 Componentes del Programa

Para el desarrollo del modelo de una cuenca, el primer paso consiste en el desarrollo del modelo de la red de corrientes, que se refiere a subdividir la cuenca en un sistema interconectado de corrientes, de acuerdo a la información de mapas topográficos u otra información de que se disponga. Para esta tarea, debe tomarse en cuenta el propósito del trabajo, la variabilidad de los procesos hidrometeorológicos y las características físicas de las subcuencas.

A continuación se definen las características de cada subcuenca que determinan la componente de flujo superficial. Estas características definen el tránsito del exceso de precipitación dentro de la subcuenca, utilizando las técnicas de hidrograma unitario o la onda cinemática.

La última de las componentes hidrológicas del modelo, es la componente del tránsito de hidrogramas en los canales. Los hidrogramas calculados se transitan hacia los puntos aguas abajo, con base en las características de los canales.

3.2 Simulación Precipitación-Escorrentía

Para simular el proceso de Precipitación-escorrentía, el programa separa los componentes del ciclo de precipitación, interceptación-infiltración, transformación del exceso de precipitación en caudal, suma del flujo base y tránsito del hidrograma. A continuación se hace una descripción resumida de

la forma en que el modelo simula esos procesos.

a) Precipitación

Para el cálculo de los hidrogramas se requiere de un hietograma, que es la representación de la altura de precipitación promedio sobre una cuenca, subcuenca ó un área, en un período determinado de tiempo. Para calcular el volumen de precipitación de cualquier tormenta, debe especificarse si el hietograma dado es el promedio para toda la cuenca; ó si debe pesarse de acuerdo a la precipitación registrada en otras estaciones.

Las opciones que ofrece el modelo para el ingreso de datos de precipitación son las siguientes: Tormentas históricas es decir, que los datos de precipitación se obtienen de un evento observado. Otra forma de proporcionar al modelo los datos de precipitación, es utilizando tormentas sintéticas, cuya distribución puede generarse de tres formas distintas por el modelo. Estas formas son utilizando una tormenta de proyecto standard, la precipitación máxima probable ó utilizando una tormenta sintética deducida de datos de altura de precipitación-duración.

b) Intercepción-Infiltración

La intercepción, el almacenamiento en depresiones y la infiltración son las pérdidas de precipitación que calcula el programa. Si se estima que en alguna porción de la cuenca las pérdidas de precipitación son despreciables, puede usarse un factor de impermeabilidad para garantizar un 100% de flujo superficial en esa porción de la cuenca. El modelo permite calcular las pérdidas de precipitación utilizando cuatro métodos diferentes.

El primer método es utilizar una pérdida inicial y una tasa de pérdida constante. Toda la precipitación se pierde hasta que se satisface el volumen de la pérdida inicial. Luego que la pérdida inicial es satisfecha, la pérdida de precipitación se calcula a una tasa constante.

El segundo método utiliza una tasa de pérdida exponencial. Este es un método empírico que relaciona la tasa de pérdida con la intensidad de lluvia y las pérdidas acumuladas.

El tercer método, es el del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Este método relaciona las características de drenaje de grupos de suelos con un número de curva. El SCS da información que relaciona tipos de grupos de suelos con un número de curva, como una función de la cobertura del suelo, su uso y condiciones de humedad antecedente.

El último método utiliza la tasa de pérdida como una función de la capacidad de infiltración, que se calcula con la formula de

Holtan.

c) El Hidrograma Unitario

El hidrograma unitario es la técnica utilizada para transformar el exceso de precipitación en caudal. El Hidrograma unitario puede ser proporcionado directamente o bien, se puede calcular un hidrograma unitario sintético de los parámetros que se proporcionen. Hay tres métodos de cálculo de hidrograma unitario sintético en el programa y además existe la opción del cálculo utilizando la onda cinemática.

El primer método es el hidrograma unitario de Clark, que requiere tres parámetros para calcular el hidrograma unitario, que son: el tiempo de concentración, un coeficiente de almacenamiento y una curva área-tiempo.

El segundo método es el hidrograma de Snyder que utiliza el caudal pico del hidrograma unitario, el tiempo que transcurre hasta producirse el pico y los anchos de hidrograma unitario en el 50 y 75% del caudal pico.

Por último el programa puede utilizar el hidrograma unitario adimensional del SCS, que requiere un solo parámetro, que es el período entre el centro de masa del exceso de lluvia y el pico del hidrograma unitario, expresado en horas.

La otra opción es calcular el flujo superficial de cada subcuenca, utilizando el método de la onda cinemática. Este método utiliza tres elementos conceptuales: planos de flujo, canales colectores y canales principales. Esta opción es muy conveniente para analizar cuencas que carecen de control y sobre todo en el caso de zonas urbanas cuyas características físicas son muy definidas. Debido a la existencia de mapas detallados de estas áreas, los parámetros que utiliza el modelo pueden determinarse con cierta precisión, lo que hace que la utilización de esta herramienta de análisis sea muy atractiva.

d) Flujo base

El HEC-1 permite el cálculo del flujo base utilizando tres parámetros: el caudal del río al inicio del proceso, el caudal a partir del cual se inicia la recesión exponencial del hidrograma calculado y la relación entre el caudal al inicio del limbo de recesión y el caudal una hora después. Los últimos dos parámetros pueden proporcionarse como valores regionales calculados en función del pico ó del área.

3.3 Rutina de Optimización

Los parámetros del hidrograma pueden estimarse a partir de las características físicas e hidrológicas de las cuencas, pero el modelo debe ser calibrado de acuerdo a crecidas observadas, siempre que esto sea posible. El HEC-1 ofrece una rutina de

optimización para la estimación de algunos parámetros si se cuenta con datos de precipitación y caudales. Si se usa esta técnica y se regionalizan los resultados, también se pueden estimar los parámetros para áreas sin información.

El proceso consiste en minimizar una función objeto, que es la raíz cuadrada del cuadrado pesado de las diferencias entre el hidrograma observado y el calculado. Se considera que esta diferencia será un mínimo cuando los parámetros estimados sean óptimos. Sin embargo, este procedimiento no garantiza que se encuentre un óptimo global de los parámetros, puesto que puede determinarse un mínimo local con el procedimiento. Utilizando las comparaciones gráficas y estadísticas de los hidrogramas observado y calculado, el usuario puede variar las condiciones iniciales para mejorar el proceso de optimización y encontrar un óptimo global.

3.4 Tránsito de Hidrogramas

Se utiliza el tránsito de hidrogramas para simular el movimiento de las ondas de crecidas a través de los tramos de los ríos. La mayor parte de los métodos de tránsito de hidrogramas disponibles en el HEC-1, están basados en la ecuación de continuidad y en algunas relaciones entre el caudal y el almacenamiento. Estos métodos son: el método Muskingum, el de la onda cinemática, puls modifico, descarga (D) y almacenamiento (R) de trabajo, y tránsito en embalses por niveles. En todos estos métodos, el tránsito se realiza sobre una base de independencia de los tramos de aguas arriba hacia aguas abajo. No se considera remanso ni discontinuidades de la superficie de agua, tales como los resaltos o caídas.

Los métodos de almacenamiento en el HEC-1 son los métodos que requieren datos para definir las características de almacenamiento de un tramo ó embalse. Estos métodos son: puls modifico, descarga y almacenamiento de trabajo, y tránsito en embalses por niveles.

3.5. Derivaciones

Las derivaciones pueden ser simuladas por interpolación lineal de tablas que se proporcionan de caudal contra caudal derivado. A cada caudal corresponde una cantidad de agua derivada de un punto determinado dentro o fuera de la cuenca. El caudal Derivado puede ser retenido, transitado y combinado con otros caudales en cualquier parte del sistema, aguas abajo del punto de derivación ó a un sistema de drenaje paralelo.

3.6. Plantas de Bombeo

Se puede simular plantas de bombeo para los casos de problemas de drenaje, tales como áreas bajas ó donde existen muros de encauzamiento. Se pueden utilizar varias bombas, cada una con diferente elevación de encendido. Las bombas se simulan con la

opción de tránsito de embalses por niveles.

El programa verifica el nivel del embalse al principio de cada período de tiempo. Si el nivel excede la elevación de encendido, la bomba se enciende y el caudal bombeado aparece como un término adicional en la ecuación de tránsito. Cuando el nivel del embalse baja del nivel de apagado, la bomba se apaga. Pueden usarse varias bombas con distintos niveles de encendido y apagado.

Cada bomba bombea un caudal constante y esta encendida o apagada. No hay cambios en la descarga debido a la carga. La descarga promedio para un período de tiempo está determinada por la capacidad de la bomba, de tal manera que se asume que la bomba se enciende inmediatamente después del período anterior.

El caudal bombeado puede ser reintegrado en cualquier punto aguas abajo de la localización del bombeo.

ANEXO 2
EJEMPLO DE CORRIDAS DEL MODELO

 FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE HEC-1 (IBM XT 512K VERSION) -FEB 1,1985
 U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, THE HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 609 SECOND STREET, DAVIS, CA. 95616

THIS HEC-1 VERSION CONTAINS ALL OPTIONS EXCEPT ECONOMICS, AND THE NUMBER OF PLANS ARE REDUCED TO 3

HEC-1 INPUT

PAGE 1

LINE	ID.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8.....9.....10
1	ID SIMULACION DE LA CUENCA DEL RIO PENSATIVO
2	ID SITUACION ACTUAL
3	ID TORMENTA DE 2 ANIOS
4	ID DURACION 1 HORA (TORMENTA CRITICA)
5	ID SUELO SECO
	*DIAGRAM
6	IT 5 30
7	IO 5
8	IM
9	KK SUB1
10	KM CAUDAL SUBCUENCA 1
11	PB 33.2
12	PI 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3
13	PI 0.3 0.3
14	BA 1.788
15	LS 0 60 0 0 75 16
16	UK 670 0.502 0.40 50
17	UK 500 0.502 0.10 50
18	RK 2125 0.2165 0.03 1.788 TRAP
19	KK SUB2
20	KM CAUDAL SUBCUENCA 2
21	BA 0.90
22	LS 0 66 0 75
23	UK 400 0.582 0.40 62
24	UK 390 0.582 0.10 38
25	RK 1125 0.1778 0.03 0.90 TRAP
26	KK SUB3
27	KM COMBINE CAUDALES SUBCUENCAS 1 Y 2
28	HC 2



29 KK SUB3
 30 KM CAUDAL SUBCUENCA 3
 31 BA 0.319
 32 LS 0 73 2 79
 33 UK 120 0.75 0.40 76
 34 UK 150 0.75 0.10 24
 35 RK 1000 0.060 0.03 0.319 TRAP YES

36 KK SUB4
 37 KM CAUDAL SUBCUENCA 4
 38 BA 4.900
 39 LS 0 60 4 0 75
 40 UK 630 0.301 0.40 22
 41 UK 1200 0.301 0.10 76
 42 RK 2550 0.0941 0.03 4.90 TRAP

43 KK SUB5
 44 KM COMBINE CAUDALES SUBCUENCAS 3 Y 4
 45 HC 2

HEC-1 INPUT

PAGE 2

LINE ID.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8.....9.....10

46 KK SUB5
 47 KM CAUDAL SUBCUENCA 5
 48 BA 1.008
 49 LS 66 75
 50 UK 700 0.129 0.40 32
 51 UK 2500 0.129 0.10 68
 52 RK 255 0.0784 0.03 1.008 TRAP YES

53 KK SUB6
 54 KM CAUDAL SUBCUENCA 6
 55 BA 1.775
 56 LS 66 75 6
 57 UK 240 1.261 0.40 45
 58 UK 270 1.261 0.10 55
 59 RK 2750 0.1673 0.03 1.775 TRAP

60 KK SUB7
 61 KM COMBINE CAUDALES SUBCUENCAS 5 Y 6
 62 HC 2

63 KK SUB7
 64 KM CAUDAL SUBCUENCA 7
 65 BA 0.108
 66 LS 75
 67 UK 180 1.00 0.40 100
 68 RK 500 0.080 0.03 0.108 TRAP YES

69	KK	SUB8							
70	KM	CAUDAL SUBCUENCA 8							
71	BA	5.083							
72	LS	60	1		75		9		
73	UK	240	0.294	0.40	41				
74	UK	760	0.294	0.10	59				
75	RK	4.375	0.1417	0.03	5.083	TRAP			
76	KK	SUB9							
77	KM	COMBINE CAUDALES SUBCUENCAS 7 Y 8							
78	HC	2							
79	KK	SUB9							
80	KM	CAUDAL SUBCUENCA 9							
81	BA	0.175							
82	LS	73	34						
83	UK	350	0.500	0.40	100				
84	RK	750	0.40	0.03	0.175	TRAP	YES		
85	KK	SUB10							
86	KM	CAUDALES SUBCUENCA 10							
87	BA	4.063							
88	LS	73			79		15		
89	UK	650	0.614	0.40	79				
90	UK	510	0.614	0.05	21				
91	RK	3950	0.1266	0.030	4.063	TRAP			

MEC-1 INPUT

LINE ID.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8.....9.....10

92	KK	SUB11							
93	KM	COMBINE CAUDALES SUBCUENCAS 9 Y 10							
94	HC	2							
95	KK	SUB11							
96	KM	CAUDAL SUBCUENCA 11							
97	KD	1	2						
98	BA	4.775							
99	LS	66	2		75				
100	UK	830	0.477	0.40	88				
101	UK	1400	0.477	0.10	12				
102	RK	3100	0.0323	0.030	4.775	TRAP	YES		
103	ZZ								

SCHEMATIC DIAGRAM OF STREAM NETWORK

INPUT LINE	(V) ROUTING	(---) DIVERSION OR PUMP FLOW
NO.	(.) CONNECTOR	((---)) RETURN OF DIVERTED OR PUMPED FLOW
9	SUB1	
	.	
19	.	SUB2
	.	.
26	SUB3.....	
	v	
	v	
29	SUB3 ***	
	.	
36	.	SUB4
	.	.
43	SUB5.....	
	v	
	v	
46	SUB5 ***	
	.	
53	.	SUB6
	.	.
60	SUB7.....	
	v	
	v	
63	SUB7 ***	
	.	
69	.	SUB8
	.	.
76	SUB9.....	
	v	
	v	
79	SUB9 ***	
	.	
85	.	SUB10
	.	.
92	SUB11.....	
	v	
	v	
95	SUB11 ***	

(***) RUNOFF ALSO COMPUTED AT THIS LOCATION

1

FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE HEC-1 (IBM XT 512K VERSION) -FEB 1,1985
U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, THE HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 609 SECOND STREET, DAVIS, CA. 95616

SIMULACION DE LA CUENCA DEL RIO PENSATIVO
SITUACION ACTUAL
TORMENTA DE 2 AMIOS
DURACION 1 HORA (TORMENTA CRITICA)
SUELO SECO

7 IO OUTPUT CONTROL VARIABLES
IPRNT 5 PRINT CONTROL
IPLOT 0 PLOT CONTROL
QSCAL 0. HYDROGRAPH PLOT SCALE

IT HYDROGRAPH TIME DATA
NMIN 5 MINUTES IN COMPUTATION INTERVAL
IDATE 1 0 STARTING DATE
ITIME 0000 STARTING TIME
NQ 30 NUMBER OF HYDROGRAPH ORDINATES
NDDATE 1 0 ENDING DATE
NDTIME 0225 ENDING TIME

COMPUTATION INTERVAL .08 HOURS
TOTAL TIME BASE 2.42 HOURS

METRIC UNITS

*** **

 * *
 95 KK * SUB11 *
 * *

97 KO OUTPUT CONTROL VARIABLES
 IPRNT 1 PRINT CONTROL
 IPLOT 2 PLOT CONTROL
 QSCAL 0. HYDROGRAPH PLOT SCALE

SUBBASIN RUNOFF DATA

98 BA SUBBASIN CHARACTERISTICS
 TAREA 4.78 SUBBASIN AREA

PRECIPITATION DATA

11 PB STORM 33.20 BASIN TOTAL PRECIPITATION

12 PI INCREMENTAL PRECIPITATION PATTERN
 8.30 8.30 8.30 8.30 8.30 8.30 8.30 8.30 8.30
 8.30 8.30

99 LS SCS LOSS RATE
 STRTL 26.17 INITIAL ABSTRACTION
 CRVNR 66.00 CURVE NUMBER
 RTIMP 2.00 PERCENT IMPERVIOUS AREA

LOSS RATE VARIABLES FOR SECOND OVERLAND FLOW ELEMENT

STRTL 16.93 INITIAL ABSTRACTION
 CRVNR 75.00 CURVE NUMBER
 RTIMP .00 PERCENT IMPERVIOUS AREA

KINEMATIC WAVE

100 UK OVERLAND-FLOW ELEMENT NO. 1
 L 830. OVERLAND FLOW LENGTH
 S .4770 SLOPE
 N .400 ROUGHNESS COEFFICIENT
 PA 88.0 PERCENT OF SUBBASIN

101 UK OVERLAND-FLOW ELEMENT NO. 2
 L 1400. OVERLAND FLOW LENGTH
 S .4770 SLOPE
 N .100 ROUGHNESS COEFFICIENT
 PA 12.0 PERCENT OF SUBBASIN

102 RK MAIN CHANNEL
 L 3100. CHANNEL LENGTH
 S .0323 SLOPE
 N .030 CHANNEL ROUGHNESS COEFFICIENT
 CA 4.78 CONTRIBUTING AREA
 SHAPE TRAP CHANNEL SHAPE
 WD .00 BOTTOM WIDTH OR DIAMETER
 Z 1.00 SIDE SLOPE
 RUPSTQ YES ROUTE UPSTREAM HYDROGRAPH

COMPUTED KINEMATIC PARAMETERS

ELEMENT	ALPHA	M	DT (MIN)	DX (FT)
1	2.5727	1.667	5.00	82.52
2	10.2907	1.667	5.00	510.35
3	4.4696	1.333	5.00	5085.30

HYDROGRAPH AT STATION SUB11

DA	MON	HRMN	ORD	RAIN	LOSS	EXCESS	COMP Q	†	DA	MON	HRMN	ORD	RAIN	LOSS	EXCESS	COMP Q
1	0000	1	1	.00	.00	.00	0.	†	1	0115	16	16	.00	.00	.00	12.
1	0005	2	2	2.77	2.72	.05	0.	†	1	0120	17	17	.00	.00	.00	11.
1	0010	3	3	2.77	2.72	.05	0.	†	1	0125	18	18	.00	.00	.00	10.
1	0015	4	4	2.77	2.72	.05	0.	†	1	0130	19	19	.00	.00	.00	9.
1	0020	5	5	2.77	2.72	.05	0.	†	1	0135	20	20	.00	.00	.00	7.
1	0025	6	6	2.77	2.72	.05	0.	†	1	0140	21	21	.00	.00	.00	6.
1	0030	7	7	2.77	2.72	.05	0.	†	1	0145	22	22	.00	.00	.00	5.
1	0035	8	8	2.77	2.71	.06	1.	†	1	0150	23	23	.00	.00	.00	5.
1	0040	9	9	2.77	2.69	.08	1.	†	1	0155	24	24	.00	.00	.00	4.
1	0045	10	10	2.77	2.67	.09	3.	†	1	0200	25	25	.00	.00	.00	4.
1	0050	11	11	2.77	2.64	.13	4.	†	1	0205	26	26	.00	.00	.00	4.
1	0055	12	12	2.77	2.54	.23	6.	†	1	0210	27	27	.00	.00	.00	3.
1	0100	13	13	2.77	2.43	.33	9.	†	1	0215	28	28	.00	.00	.00	3.
1	0105	14	14	.00	.00	.00	12.	†	1	0220	29	29	.00	.00	.00	3.
1	0110	15	15	.00	.00	.00	12.	†	1	0225	30	30	.00	.00	.00	3.

TOTAL RAINFALL = 33.20, TOTAL LOSS = 31.99, TOTAL EXCESS = 1.21

PEAK FLOW (CU M/S)	TIME (HR)	MAXIMUM AVERAGE FLOW				
		6-HR	24-HR	72-HR	2.42-HR	
12.	1.25	5.	5.	5.	5.	
		(MM)	1.637	1.637	1.637	1.637
		(1000 CU M)	41.	41.	41.	41.

CUMULATIVE AREA = 24.89 SQ KM

RUNOFF SUMMARY, AVERAGE FLOW IN CUBIC METERS PER SECOND
AREA IN SQUARE KILOMETERS

OPERATION	STATION	PEAK FLOW	TIME OF PEAK	AVERAGE FLOW FOR MAXIMUM PERIOD			BASIN AREA	MAXIMUM STAGE	TIME OF MAX STAGE
				6-HOUR	24-HOUR	72-HOUR			
+									
HYDROGRAPH AT									
+	SUB1	2.32	1.00	.71	.71	.71	1.79		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB2	.33	1.08	.09	.09	.09	.90		
2 COMBINED AT									
+	SUB3	2.62	1.00	.80	.80	.80	2.69		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB3	2.82	1.08	.89	.89	.89	3.01		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB4	.91	1.25	.54	.54	.54	4.90		
2 COMBINED AT									
+	SUB5	3.66	1.08	1.43	1.43	1.43	7.91		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB5	3.64	1.08	1.45	1.45	1.45	8.91		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB6	2.22	1.00	.48	.48	.48	1.77		
2 COMBINED AT									
+	SUB7	5.61	1.08	1.93	1.93	1.93	10.69		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB7	5.60	1.08	1.94	1.94	1.94	10.80		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB8	3.55	1.00	1.52	1.52	1.52	5.08		
2 COMBINED AT									
+	SUB9	9.12	1.08	3.46	3.46	3.46	15.88		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB9	9.56	1.08	3.65	3.65	3.65	16.06		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB10	3.15	1.00	.92	.92	.92	4.06		
2 COMBINED AT									
+	SUB11	12.34	1.08	4.57	4.57	4.57	20.12		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB11	12.37	1.25	4.68	4.68	4.68	24.89		

THIS HEC-1 VERSION CONTAINS ALL OPTIONS EXCEPT ECONOMICS, AND THE NUMBER OF PLANS ARE REDUCED TO 3

HEC-1 INPUT

PAGE 1

LINE	ID.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8.....9.....10
1	ID SIMULACION DE LA CUENCA DEL RIO PENSATIVO
2	ID CONSIDERANDO REFORESTACION TOTAL
3	ID TORMENTA DE 2 ANIOS
4	ID DURACION 1 HORA (TORMENTA CRITICA)
5	ID CONSIDERANDO SUELO SATURADO
6	IT 5 30
7	IO 5
8	IM
9	KK SUB1
10	KM CAUDAL SUBCUENCA 1
11	PB 33.2
12	PI 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3
13	PI 8.3 8.3
14	BA 1.788
15	LS 0 90 8
16	UK 700 0.502 0.40 100
17	RK 2125 0.2165 0.03 1.788 TRAP
18	KK SUB2
19	KM CAUDAL SUBCUENCA 2
20	BA 0.90
21	LS 0 92
22	UK 320 0.582 0.40 100
23	RK 1125 0.1778 0.03 0.90 TRAP
24	KK SUB3
25	KM COMBINE CAUDALES SUBCUENCAS 1 Y 2
26	HC 2
27	KK SUB3
28	KM CAUDAL SUBCUENCA 3
29	BA 0.319
30	LS 0 95 2
31	UK 150 0.75 0.40 100
32	RK 1000 0.060 0.03 0.319 TRAP YES

33	KK	SUB4				
34	KM	CAUDAL SUBCUENCA 4				
35	BA	4.900				
36	LS	0	90	3		
37	UK	675	0.301	0.40	100	
38	RK	2550	0.0941	0.03	4.90 TRAP	
39	KK	SUB5				
40	KM	COMBINE CAUDALES SUBCUENCAS 3 Y 4				
41	HC	2				
42	KK	SUB5				
43	KM	CAUDAL SUBCUENCA 5				
44	BA	1.008				
45	LS		92			
46	UK	1170	0.129	0.40	100	
47	RK	255	0.0784	0.03	1.008 TRAP	

HEC-1 INPUT

YES

LINE ID.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8.....9.....10

48	KK	SUB6				
49	KM	CAUDAL SUBCUENCA 6				
50	BA	1.775				
51	LS		92	3		
52	UK	310	1.261	0.40	100	
53	RK	2750	0.1673	0.03	1.775 TRAP	
54	KK	SUB7				
55	KM	COMBINE CAUDALES SUBCUENCAS 5 Y 6				
56	HC	2				
57	KK	SUB7				
58	KM	CAUDAL SUBCUENCA 7				
59	BA	0.108				
60	LS		95			
61	UK	180	1.00	0.40	100	
62	RK	500	0.080	0.03	0.108 TRAP	
63	KK	SUB8				
64	KM	CAUDAL SUBCUENCA 8				
65	BA	5.083				
66	LS		90	6		
67	UK	660	0.294	0.40	100	
68	RK	4.375	0.1417	0.03	5.083 TRAP	
69	KK	SUB9				
70	KM	COMBINE CAUDALES SUBCUENCAS 7 Y 8				
71	HC	2				
72	KK	SUB9				
73	KM	CAUDAL SUBCUENCA 9				
74	BA	0.175				
75	LS		95	34		
76	UK	350	0.500	0.40	100	
77	RK	750	0.40	0.03	0.175 TRAP	

YES

YES

```

78      KK  SUB10
79      KM      CAUDALES SUBCUENCA 10
80      BA  4.063
81      LS      95      3
82      UK  470  0.614  0.40  100
83      RK  3950 0.1266 0.030 4.063  TRAP

84      KK  SUB11
85      KM      COMBINE CAUDALES SUBCUENCAS 9 Y 10
86      HC      2

87      KK  SUB11
88      KM      CAUDAL SUBCUENCA 11
89      KO      1      2
90      BA  4.775
91      LS      92      2
92      UK  875  0.477  0.40  100
93      RK  3100 0.0323 0.030 4.775  TRAP

```

YES

HEC-1 INPUT

PAGE 3

LINE ID.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8.....9.....10

94 ZZ

FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE HEC-1 (IBM XT 512K VERSION) -FEB 1,1985
 U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, THE HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 609 SECOND STREET, DAVIS, CA. 95616

SIMULACION DE LA CUENCA DEL RIO PENSATIVO
 CONSIDERANDO REFORESTACION TOTAL
 TORMENTA DE 2 ANIOS
 DURACION 1 HORA (TORMENTA CRITICA)
 CONSIDERANDO SUELO SATURADO

7 10 OUTPUT CONTROL VARIABLES

```

IPRNT      5  PRINT CONTROL
IPLOT      0  PLOT CONTROL
QSCAL      0.  HYDROGRAPH PLOT SCALE

```

IT HYDROGRAPH TIME DATA

```

MMIN      5  MINUTES IN COMPUTATION INTERVAL
IDATE     1  0  STARTING DATE
ITIME     0000  STARTING TIME
NQ        30  NUMBER OF HYDROGRAPH ORDINATES
NDDATE    1  0  ENDING DATE
NDTIME    0225  ENDING TIME

```

```

COMPUTATION INTERVAL  .08 HOURS
TOTAL TIME BASE       2.42 HOURS

```

METRIC UNITS

 * *
 * SUB11 *
 * *

87 KK

89 KD

OUTPUT CONTROL VARIABLES

IPRNT 1 PRINT CONTROL
 IPLOT 2 PLOT CONTROL
 QSCAL 0. HYDROGRAPH PLOT SCALE

SUBBASIN RUNOFF DATA

90 BA

SUBBASIN CHARACTERISTICS

TAREA 4.78 SUBBASIN AREA

PRECIPITATION DATA

11 PB

STORM 33.20 BASIN TOTAL PRECIPITATION

12 PI

INCREMENTAL PRECIPITATION PATTERN

0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30
 0.30 0.30

91 LS

SCS LOSS RATE

STRTL 4.42 INITIAL ABSTRACTION
 CRVMBR 92.00 CURVE NUMBER
 RTIMP 2.00 PERCENT IMPERVIOUS AREA

KINEMATIC WAVE

92 UK

OVERLAND-FLOW ELEMENT NO. 1

L 875. OVERLAND FLOW LENGTH
 S .4770 SLOPE
 N .400 ROUGHNESS COEFFICIENT
 PA 100.0 PERCENT OF SUBBASIN

93 RK

MAIN CHANNEL

L 3100. CHANNEL LENGTH
 S .0323 SLOPE
 N .030 CHANNEL ROUGHNESS COEFFICIENT
 CA 4.78 CONTRIBUTING AREA
 SHAPE TRAP CHANNEL SHAPE
 WD .00 BOTTOM WIDTH OR DIAMETER
 Z 1.00 SIDE SLOPE
 NUPSIU YES ROUTE UPSTREAM HYDROGRAPH

COMPUTED KINEMATIC PARAMETERS

ELEMENT	ALPHA	N	DT (MIN)	DX (FT)
1	2.5727	1.667	5.00	287.07
3	4.4696	1.333	5.00	5085.30

HYDROGRAPH AT STATION SUB11

DA	MON	HRMM	ORD	RAIN	LOSS	EXCESS	COMP Q		DA	MON	HRMM	ORD	RAIN	LOSS	EXCESS	COMP Q
1	0000	1	.00	.00	.00	0.	0.	*	1	0115	16	.00	.00	.00	75.	
1	0005	2	2.77	2.71	.06	0.	0.	*	1	0120	17	.00	.00	.00	71.	
1	0010	3	2.77	2.66	.11	0.	0.	*	1	0125	18	.00	.00	.00	65.	
1	0015	4	2.77	2.20	.57	0.	0.	*	1	0130	19	.00	.00	.00	60.	
1	0020	5	2.77	1.77	.99	0.	0.	*	1	0135	20	.00	.00	.00	55.	
1	0025	6	2.77	1.46	1.31	0.	0.	*	1	0140	21	.00	.00	.00	51.	
1	0030	7	2.77	1.23	1.54	0.	0.	*	1	0145	22	.00	.00	.00	47.	
1	0035	8	2.77	1.04	1.72	2.	2.	*	1	0150	23	.00	.00	.00	44.	
1	0040	9	2.77	.90	1.87	7.	7.	*	1	0155	24	.00	.00	.00	41.	
1	0045	10	2.77	.78	1.99	17.	17.	*	1	0200	25	.00	.00	.00	38.	
1	0050	11	2.77	.69	2.08	21.	21.	*	1	0205	26	.00	.00	.00	35.	
1	0055	12	2.77	.61	2.16	33.	33.	*	1	0210	27	.00	.00	.00	32.	
1	0100	13	2.77	.54	2.23	46.	46.	*	1	0215	28	.00	.00	.00	30.	
1	0105	14	.00	.00	.00	61.	61.	*	1	0220	29	.00	.00	.00	27.	
1	0110	15	.00	.00	.00	71.	71.	*	1	0225	30	.00	.00	.00	25.	

TOTAL RAINFALL = 33.20, TOTAL LOSS = 16.58, TOTAL EXCESS = 16.62

PEAK FLOW (CU M/S)	TIME (HR)	MAXIMUM AVERAGE FLOW			
		6-HR	24-HR	72-HR	2.42-HR
75.	1.25	32.	32.	32.	32.
		(MM) 11.338	11.338	11.338	11.338
		(1000 CU M) 282.	282.	282.	282.

CUMULATIVE AREA = 24.89 SQ KM

STATION SUB11

DAHRM PER	(0) OUTFLOW						(1) PRECIP, (1) EXCESS						
	0.	10.	20.	30.	40.	50.	60.	70.	80.	0.	1.	2.	3.
10000	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10005	20	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10010	30	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10015	40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10020	50	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10025	60	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10030	70	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10035	8.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10040	9.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10045	10.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10050	11.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10055	12.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10100	13.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10105	14.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10110	15.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10115	16.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10120	17.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10125	18.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10130	19.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10135	20.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10140	21.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10145	22.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10150	23.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10155	24.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10200	25.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10205	26.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10210	27.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10215	28.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10220	29.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10225	30.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

RUNOFF SUMMARY, AVERAGE FLOW IN CUBIC METERS PER SECOND
AREA IN SQUARE KILOMETERS

OPERATION	STATION	PEAK FLOW	TIME OF PEAK	AVERAGE FLOW FOR MAXIMUM PERIOD			BASIN AREA	MAXIMUM STAGE	TIME OF MAX STAGE
				6-HOUR	24-HOUR	72-HOUR			
+									
HYDROGRAPH AT									
+	SUB1	4.22	1.17	2.22	2.22	2.22	1.79		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB2	4.98	1.08	1.49	1.49	1.49	.90		
2 COMBINED AT									
+	SUB3	8.98	1.08	3.70	3.70	3.70	2.69		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB3	10.62	1.08	4.38	4.38	4.38	3.01		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB4	8.31	1.17	4.86	4.86	4.86	4.90		
2 COMBINED AT									
+	SUB5	18.88	1.17	9.24	9.24	9.24	7.91		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB5	19.62	1.17	9.73	9.73	9.73	8.91		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB6	11.59	1.08	3.15	3.15	3.15	1.77		
2 COMBINED AT									
+	SUB7	30.33	1.08	12.88	12.88	12.88	10.69		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB7	30.34	1.08	13.03	13.03	13.03	10.80		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB8	9.33	1.08	5.46	5.46	5.46	5.08		
2 COMBINED AT									
+	SUB9	39.67	1.08	18.50	18.50	18.50	15.88		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB9	40.68	1.17	18.84	18.84	18.84	16.06		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB10	25.14	1.08	8.66	8.66	8.66	4.06		
2 COMBINED AT									
+	SUB11	65.55	1.17	27.51	27.51	27.51	20.12		
HYDROGRAPH AT									
+	SUB11	74.75	1.25	32.44	32.44	32.44	24.89		

*** NORMAL END OF HEC-1 ***