



PREDICCIÓN HIDROLOGICA  
EN LA CUENCA MAGDALENA - CAUCA

BOGOTÁ, Febrero de 1986

## PREVENCION Y MANEJO DEL RIESGO DE INUNDACIONES

### CONTENIDO

- I PREDICCIÓN HIDROLOGICA EN LA CUENCA MAGDALENA-CAUC (Elaborado por: Gabriel E. Chitiva B.)
  1. Antecedentes
    - 1.1 Río Magdalena
    - 1.2 Río Cauca
    - 1.3 Proyecto de Alertas Hidrometeorológicas
  2. Red de Comunicaciones y Sistema de Transmisión
    - 2.1 Datos en Tiempo Real
  3. Producción de un Pronóstico
    - 3.1 Toma de Datos
    - 3.2 Transmisión y Recepción de Datos
    - 3.3 Recepción y verificación de la información
    - 3.4 Estimación de la precipitación media y Cálculo de Caudales
    - 3.5 Modelo COSSARR
    - 3.6 Análisis de Resultados
    - 3.7 Boletín de Alertas
  4. Automatización de la Red de Alertas
  5. Resultados
  6. Conclusiones

## II INUNDACIONES (Elaborado por Orlando Guzmán)

1. Inundaciones
2. La planicie Inundable
3. Daños por inundaciones
4. Agravantes
5. Soluciones a los problemas de Inundación
  - 5.1 Construcción y mantenimiento de estructuras especiales
  - 5.2 Predicciones y avisos
  - 5.3 Controles oficiales
6. Medidas de emergencia
7. Recomendaciones en el caso de inundación
8. Manejo de la planicie inundable
9. Zonas identificadas con problemas ocasionados por los ríos, su solución y costo.

## PREVENCIÓN Y MANEJO DEL RIESGO DE INUNDACIONES

### RESUMEN

Con este seminario se quieren presentar los trabajos realizados por diferentes universidades, asociaciones, empresas del sector público y privado y profesionales que en una u otra forma se encuentran vinculados con investigaciones y estudios relacionados con la "Prevención y Manejo de Catástrofes Naturales".

El HIMAT es uno de ellos y quiero hacer referencia a la Prevención y Manejo del Riesgo de Inundaciones, evento que todos los años ocurre, causando graves problemas en las cuencas de los ríos Magdalena y Cauca donde se encuentra el mayor polo de desarrollo del país. Las inundaciones afectan en menor grado otras cuencas tales como la del Meta, Guaviare, Arauca y otras de la orinoquia y amazonia colombiana.

Se trata de un trabajo realizado por un grupo de técnicos del HIMAT con el apoyo de organizaciones internacionales y con el cual se ha desarrollado el denominado proyecto de Alertas Hidrometeorológicas que cubre básicamente la cuenca Magdalena-Cauca; contempla asuntos relacionados con la filosofía general de la prevención de inundaciones, red de comunicaciones, sistemas de transmisión, producción de pronósticos, automatización de la red, resultados y conclusiones.

## PREDICCIÓN HIDROLÓGICA EN LA CUENCA MAGDALENA-CAUCA

Gabriel E. Chitiva B. \*

### 1. ANTECEDENTES

#### 1.1 Río Magdalena

A través de la historia, el Río Magdalena se ha constituido en el núcleo de desarrollo en Colombia. Tiene una longitud de 1.550 Km. desde el Páramo de Las Papas hasta Barranquilla con un área aproximada de 257.400 Km<sup>2</sup>, que corresponde al 17.3% del área del territorio nacional. Se estima que en los primeros 800 Km. de su curso, reside un 80% de la población colombiana, se desarrolla cerca del 85% de la industria ganadera y en el valle que forma el río se encuentran vastas zonas de suelos apropiados para el desarrollo agrícola.

El caudal medio del Río Magdalena en Calamar es de 7.021 M<sup>3</sup>/S (período 1940-1984), presenta un rendimiento de 27.30 L/S/Km<sup>2</sup>, estos datos lo sitúan a nivel mundial en una posición realmente destacada, a pesar de que su área tributaria es menor que otras cuencas con mayores áreas y menor rendimiento.

En la Tabla No.1, se presenta una comparación del Río Magdalena con algunas corrientes a nivel mundial.

La cuenca Magdalena-Cauca es una de las pocas en su magnitud que está situada totalmente en la banda ecuatorial; la precipitación media anual es de 2.000 mm. con isoyetas promedio que pueden llegar a un máximo de 5.000 mm. y mínimo de 800 mm.

Con base en los estudios de variación de caudales adelantados por el HIMAT se evidencia para la cuenca del Río Magdalena, la presencia de dos períodos alternados de aguas bajas y altas, características variables de acuerdo a las diferentes regiones climáticas que atraviesa el río.

TABLA No.1

COMPARACION DEL RIO MAGDALENA CON ALGUNAS CORRIENTES DEL MUNDO

Corriente	Conti- nente	Q.Medio M <sup>3</sup> /S.	Long. Km.	Area Km <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup>	Rendimientos L/S/Km <sup>2</sup>
San Lorenzo	N.A.	14.000	3.060	1.290	10.8
Mississippi	N.A.	18.400	5.985	3.220	5.7
Amazonas	S.A.	220.000	6.280	6.915	31.8
Magdalena	S.A.	7.018	1.550	257	27.3
Orinoco	S.A.	29.100	2.740	1.000	29.1
Atrato	S.A.	2.185	572	35.7	128.4
San Juan	S.A.	2.107	318	14.5	193.0
La Plata	S.A.	23.000	4.700	3.100	7.4
San Francisco	S.A.	3.000	7.800	600	5.0
Loira	Europa	850	1.110	120	7.0
Rhin	Europa	2.200	1.360	224	9.8
Volga	Europa	8.200	3.350	1.360	6.0
Danubio	Europa	6.800	2.860	817	8.3
Sena	Europa	500	780	78.6	6.4
Yangtzé	Asia	31.500	5.520	1.800	17.5
Niger	Africa	8.500	4.160	2.090	4.1
Impopó	Africa	824	1.600	440	1.2
Nilo	Africa	2.322	6.670	2.870	0.8
Ganges	Asia	39.000	3.000	1.730	22.5

N.A. = Norte América

S.A. = Sur América

VARIACION NIVELES R. MAGDALENA

NIVELES BAJOS		NIVELES ALTOS	
1 <sup>er</sup> PERIODO	ENERO FEBRERO MARZO	1 <sup>er</sup> PERIODO	ABRIL MAYO JUNIO
2 <sup>o</sup> PERIODO	ALTO MAGDALENA, AGOSTO SEPTIEMBRE	2 <sup>o</sup> PERIODO	OCTUBRE
	MEDIO Y BAJO MAGDALENA JUL, AGOST, SEPT.		NOVIEMBRE DICIEMBRE

En la parte baja del río, existen zonas cenagosas y lacustres que sirven de "almacenamiento y amortiguación natural" para la etapa de niveles altos, con una extensión aproximada de millón y medio (1 1/2) de hectáreas.

En general, se puede afirmar que la cuenca ofrece grandes posibilidades de aprovechamiento agropecuario sin olvidar los aspectos hidroenergéticos.

Sin embargo, los cultivos no controlados en las zonas montañosas, la quema de bosques, la deforestación, los riegos no tecnificados, han deteriorado considerablemente las condiciones naturales de la cuenca; la tala de bosques y las quemas han disminuído la capacidad de infiltración de las laderas ocasionando con esto aumento del índice de escorrentía, fomentándose así la erosión, arrastres de capa vegetal y sedimentos en proporciones considerables, sin olvidar un problema realmente muy delicado que es la contaminación de sus aguas.

1.2 Río Cauca

Es el principal afluente del río Magdalena con un área de cuenca de 60.000 Km<sup>2</sup>, correspondiente al 5.7% del área total del país; el caudal medio en Las Varas es de 2348 m<sup>3</sup>/seg (período 1967 - 1984), con un rendimiento de 39.8 L/s/Km<sup>2</sup>. En el siguiente cuadro se puede resumir la variación de niveles en la cuenca.

**VARIACION NIVELES RIO CAUCA**

NIVELES BAJOS		NIVELES ALTOS	
<b>ALTO Y MEDIO CAUCA</b> FEBRERO, JULIO AGOSTO, SEPTIEMBRE, OCTUBRE	1 <sup>er</sup> PERIODO	<b>ALTO Y MEDIO CAUCA</b> MARZO, ABRIL, MAYO, JUNIO	
	MAXIMOS. MAYO	<b>BAJO CAUCA</b> ABRIL, MAYO, JUNIO	
<b>BAJO CAUCA</b> ENERO, FEBRERO, MARZO JULIO, AGOSTO	2 <sup>o</sup> PERIODO	<b>ALTO Y MEDIO CAUCA</b> NOVIEMBRE, DICIEMBRE, ENERO	
		<b>BAJO CAUCA</b> Septiembre, Octubre, Noviembre	

NOTA : ELABORADO CON DATOS HISTORICOS SIN TENER EN CUENTA LA INFLUENCIA DE LA REPRESA DE SALVAJINA.

Como puede observarse, se presentan ciertas diferencias en el comportamiento hidrológico en la cuenca Magdalena- Cauca que son consecuencia directa de las variadas condiciones climáticas que se presentan en ellas y de sus características fisiográficas. En el río Magdalena los dos períodos de aguas altas y bajas están claramente definidos, destacándose el hecho de que el primer período de aguas altas es de mayor duración pero los caudales registran mayores valores en el segundo período:

Comparativamente el río Cauca presenta mayores oscilaciones de sus niveles ya que la distribución de los caudales medios en el río Magdalena es más homogénea. En consecuencia, tiene problemas más agudos tanto para niveles altos como de estiaje.

En el bajo Cauca, también se tiene una zona lacustre y cenagosa, con un área aproximada de 570.000 Ha. y que puede considerarse también como almacenamiento y amortiguación natural en el período de aguas altas de la zona.

Como información adicional en la Tabla No.2 se presenta un resumen de algunos eventos de crecidas y estiaje, en la cuenca Magdalena - Cauca.

1.3 Proyecto de Alertas Hidrometeorológicas

En Colombia como consecuencia de avenidas, inundaciones, sequías y otros eventos hidrometeorológicos extremos, se registran anualmente pérdidas materiales por valor de 35 millones de dólares, más de 65.000 personas damnificadas y alrededor de 140 vidas humanas perdidas. Las estadísticas indican que las pérdidas podrán

CUENCA MAGDALENA --- CAUCA

R I O M A G D A L E N A

* ESTACION	* UBICACION GEOGRAFICA	* AREA * *drenaje *	* Q MAXIMO * (fecha)	* Q MINIMO * (fecha)	* Q MEDIO * ANOS * OBSERV	* COTA * INUNDAC * actual	* COTA * "0" * MIRA					
* MUNICIPIO * DEP/TO	* KM2	* M3/S	* NIVEL	* M3/S	* NIVEL	* M3/S	* NIVEL	* No	* Mts	* MSNM		
*Pte.Santander	*Palermo	*Huila	15755	3382	7.19	58	1.04	484	2.72	37	8.80	419.796
				08-07-71		11-03-64						
*Purificacion	*Purificac	*Tolima	26115	4186	288.28	8	283.74	704	285.15	25	8.85	280.988
				19-12-75		03-03-61						
*ArrancaPlumas	*Guaduas	*Cund/ca	54359	4572	9.98	110		1365	4.11	51	9.20	200.573
				06-05-35		13-10-66						
*Puerto Berrío	*Pto.Berrío	*Antioquia	74410	7001	5.57	570	1.71	2463	3.81	49	5.62	104.434
				14-11-75		28-02-73						
*Sitio Nuevo	*Pto.Wilches	*Santander	119491	6340	6.26	1186	1.98	3540	4.59	6	6.00	46.658
				19-05-81		14-03-80						
*El Banco	*El Banco	*Magdalena	161292	9580	9.20	925	2.41	4200	6.32	11	8.50	19.569
				15-11-75		25-02-78						
*Magangué	*Magangué	*Bolívar	246771	7498	9.39	1680	1.50	5239	5.07	33	8.20	8.535
				11-12-75		18-02-77						
*Calamar	*Calamar	*Bolívar	257438	18359	8.75	1520	1.12	7022	5.68	45	7.65	-0.205
				12-12-75		18-03-77						

R I O C A U C A

*Mediacanoa	*Yotoco	*Valle	12813	981	6.20	23		333	3.35	20	6.05	933.700
				09-12-75		07-11-76						
*La Pintada	*Aguadas	*Caldas	27452	3117	5.17	123	1.31	778	2.62	21	5.06	578.461
				23-03-71		20-10-83						
*Pto.Valdivia	*Valdivia	*Antioquia	37966	4038	7.76	232	0.16	1282	2.89	26	6.50	120.780
				01-04-71		10,11,12 03-77						
*La Coquera	*Caucasia	*Antioquia	41699	4478	4.47	113	0.30	2139	3.79	18	4.50	46.496
				19-11-73		27-02-67						
*Las Varas	*Achi	*Bolívar	56969	6616	6.58	570	0.42	2349	3.65	18	6.00	29.696
				02-02-70		10-02-77						

alcanzar US\$70 millones y 230 víctimas en promedio, una vez cada 20 años. Las cuencas del Magdalena y el Cauca son las áreas más vulnerables del país, contando el 90% de los daños y 70% de pérdida de vidas. Además, las actividades agrícolas, la industria manufacturera y el aprovechamiento de los recursos hídricos, padecen grandes pérdidas materiales indirectas.

Una de las primeras actividades del Proyecto Colombo - Holandés fué identificar las áreas que estaban sujeta a inundaciones en la cuenca Magdalena - Cauca, así como su frecuencia y duración, resultados que se pueden resumir así:

DURACION		AREA Ha. X 10	%
CORTA	Menos de 1 Mes	430	21
	1 o 3 Meses	299	14
MEDIA	3 o 6 Meses	616	30
LARGA	6 o 12 Meses	403	19
	Cienogo	329	16
TOTAL		2077	

En la Fig. N° 1 se indican las áreas con posibilidades de inundaciones y que en líneas generales, para el río Cauca está comprendidas desde Caucasia, para el río San Jorge desde Montelíbano, el río Cesar desde Caimancito y el río Magdalena desde Honda; los ríos de esta gran área tienen una pendiente longitudinal inferior al 0.3%.

Es conveniente adicionar las inundaciones producidas por escorrentía local en invierno que se presentan en los valles altos como en el Valle del Cauca, Sabana de Bogotá Río Sogamoso y Neiva entre otros.

El proyecto Colombo - Holandés, respecto a las zonas de inundación, determinó algunas conclusiones entre las que merecen especial relevancia, las siguientes:

1. Las inundaciones de corta duración se presentan en 728.000 Ha. En caso de recuperación de estas áreas, se incorporaría a la economía nacional para la agricultura una superficie equivalente a dos veces el Valle del Cauca.

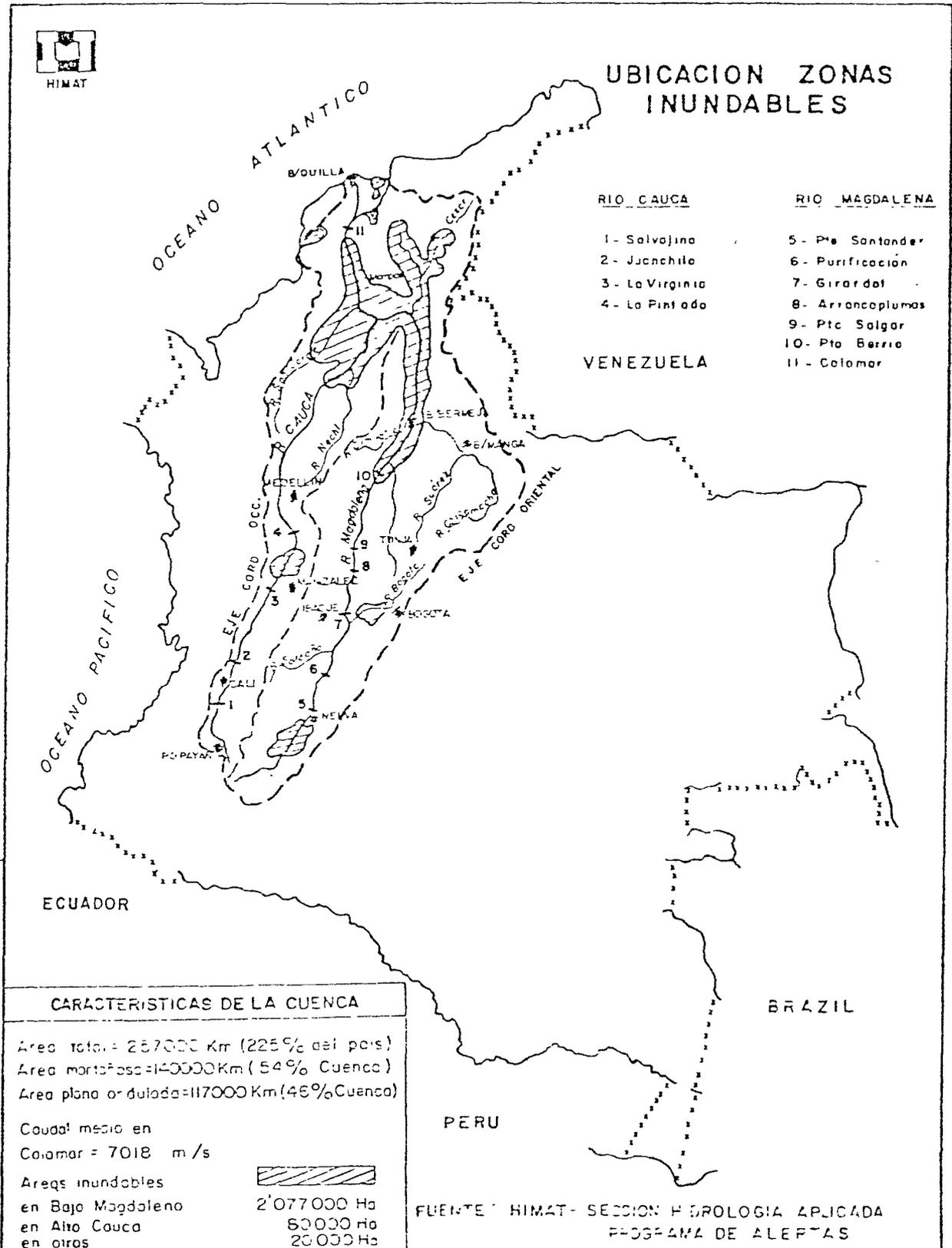


FIGURA N.º 1

2. Son susceptibles de recuperación parte de las 617.000 Has. que sufren inundaciones de duración media.
3. Si se suma la superficie total recuperable en la zona lacustre que curiosamente presenta los mejores suelos, ésta cifra sería superior a la mitad de lo que se está sembrando en cultivos temporales en la cuenca (más o menos un millón de Has.)

Razones de tanto peso, como salvar vidas humanas, disminuir daños a la economía y cooperar en la recuperación de tierras llevaron al HIMAT a gestar un proyecto que fuera fuente de datos y apoyo con base técnica real en labores para tal índole.

No obstante que el HIMAT es actualmente una entidad bien organizada y de alto prestigio técnico y científico en los campos inherentes a sus funciones y no pudiendo asumir por sus propios medios la organización de actividades de predicción y alertas por insuficiencia de recursos materiales y humanos de alta especialización, creó en cooperación con el gobierno del Canadá por intermedio de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional "ACDI", el proyecto de Alertas Hidrometeorológicas para las cuencas Magdalena y Cauca.

El convenio fué firmado en agosto de 1976; a partir de tal fecha se iniciaron las actividades tendientes a la puesta en marcha del Proyecto. Los objetivos a escala nacional a corto plazo, entre otros son:

- Disminuir las pérdidas y los daños producidos por las avenidas e inundaciones y otros eventos hidrológicos y meteorológicos.
- Aporte a la proyección y construcción de obras civiles de defensa contra las inundaciones.
- Contribución en la planeación y uso racional de recursos naturales en la navegación fluvial, en la construcción y explotación de obras hidrotécnicas y aprovechamiento de agua.
- Aportes en el desarrollo agrícola nacional, particularmente en ejecución de obras de adecuación de tierras, riego y drenaje.

El proyecto, con el aporte canadiense, tanto en lo material como en asesoría técnica, cumplió inicialmente sus objetivos inmediatos en el campo de Alertas Hidrometeorológicas, labor desarrollada hasta junio de 1980. A partir de esa fecha, se ha continuado el proyecto con profesionales y técnicos colombianos.

Durante el tiempo relativamente corto del proyecto de alertas y dentro de los objetivos inmediatos del proyecto, se han obtenido entre otros, los siguientes logros:

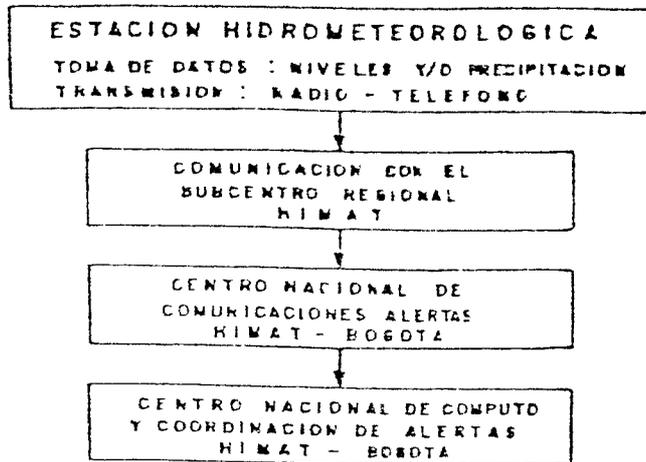
- Organización del Centro de Comunicaciones del HIMAT para obtener datos hidrometeorológicos en "tiempo real".
- Organización del Cento de Cómputo y coordinación de Alertas Hidrometeorológicas.
- Diseño y montaje de la Red de Estaciones de Alertas Hidrometeorológicas; actualmente está compuesta por 106 estaciones que tienen programa diario de transmisión de datos. (ver Tabla No3.)
- Calibración en etapa preliminar de los diferentes tramos en los cuales se ha dividido las cuencas Magdalena y Cauca para la obtención de pronósticos mediante el modelo COSSARRR.
- Formación de personal colombiano, en labores técnicas específicas del proyecto.

Previa a la iniciación en forma del proyecto de Alertas se tenían como base algunos estudios previos e información básica hidrometeorológica, hechos por el HIMAT, tales como recopilación de datos hidrométricos y pluviométricos básicos, procesamiento de datos para la elaboración de anuarios hidrológicos, reconstrucción de algunas series de caudales medios para las cuencas en mención, determinación de las áreas afectadas por inundaciones, avenidas, sequías y evaluación de las pérdidas registradas, etc. Además en los inicios del proyecto se adelantaron estudios denominados "Estudios de Apoyo" y que básicamente comprendieron la precipitación, evapotranspiración y calibración del modelo en la zona baja del río, empleando técnicas de almacenamiento.

## 2 RED DE COMUNICACIONES Y SISTEMA DE TRANSMISION

### 2.1 Datos en tiempo real

El objetivo fundamental del proyecto es lograr un "aviso y pronóstico de niveles" para las zonas que se verán afectadas por inundaciones. Obtener "datos en tiempo real", requiere lograr en la red de Alertas diseñada, datos de niveles y precipitación diariamente, con efectividad, rapidez y confiabilidad. Para tal fin, se ideó un sistema de transmisión de datos según se muestra en el siguiente esquema:



### ESQUEMA GENERAL PARA SISTEMA DE TRANSMISION DE DATOS EN TIEMPO REAL

Una vez definidos los puntos de control de la Red de Alertas, se montó la red de comunicaciones para lo cual se tenían las siguientes formas de comunicación:

- Equipos de Radio- transreceptores.
- Enlace con el sistema de comunicaciones de la Vigilancia Meteorológica Mundial VMM, que controla el HIMAT.
- Comunicación con otras entidades nacionales, como la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC-, Defensa Civil Colombiana, Empresas Públicas de Medellín, Ministerio de Obras Públicas y transporte -MOPT-.
- Enlace con el sistema nacional de telecomunicaciones TELECOM por teléfono, cable o telefonía rural.

El sistema de la Red de Comunicaciones se montó teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Para la estaciones seleccionadas se analizó su ubicación y distribución geográfica, tiempo de operación de la estación, garantía de futuro funcionamiento a largo plazo, acceso al sitio y disponibilidad de personal para la toma de datos.
- La obtención de un sistema de comunicación de fácil manejo y lo más económico posible, en instalación, operación y mantenimiento.
- Efectividad en la transmisión de los datos durante las 24 horas.
- Suministro de energía eléctrica en el sitio de la estación. En

TABLA No.3  
ESTADO ACTUAL DE LA RED DE ALERTAS HIDROMETEOROLOGICAS

SUBCENTROS REGIONALES DE COMUNICACION -HIMAT-

REGIONAL	UBICACION	No. ESTACIONES
01	* Medellín	25
02	* El Limón (B/quilla)	12
03	Cartagena	2
04	Duitama	2
05	* Montería	6
06	Villavicencio	3
07	* Neiva	6
08	Santa Marta	3
09	Pasto	1
11	* Sabana de Torres	11
12	* Ibagué	12
13	* La Unión	20
CCC 1/	Bogotá	3
TOTAL		106

DISTRIBUCION POR ENTIDADES

ENTIDAD	No. RADIOS	No. ESTACIONES	VIA
HIMAT	53	50	TEL y TELEG
EEPPM		18	TEL.
VMM (HIMAT)	17	26	
CVC		7	TEL.
AEA (Particular)		1	TEL.
MOPT		4	TEL.

RECEPCION DIARIA DE DATOS

	Cuenca Magdalena	Cuenca Cauca	Canal Dique	Puntos Control	# total datos/día
Estaciones Hidrométricas ( 2 datos/estación)	32	17	8	57	114
Estaciones Pluviométricas ( 1 dato/estación)	52	47		99	99
TOTAL					213

\* Subcentro de comunicación HIMAT

1/ CCC= Centro de Coordinación y Cómputo

caso contrario se dotó inicialmente la estación con batería o planta eléctrica y posteriormente debido a los altos costos de operación se han dotado algunas estaciones con paneles de energía solar.

- Los subcentros son oficinas regionales del HIMAT, con lo cual se pretende que la información inicialmente sea evaluada por hidrólogos y meteorólogos en las oficinas regionales.
- El Centro de Cómputo y Coordinación (CCC) de Alertas, dispuso inicialmente un minicomputador TEXAS INSTRUMENTS que aportó - ACDI así como comunicación directa con cualquier sitio de control de la red. Actualmente se labora con una terminal del - computador TEXAS que el HIMAT posee.

### 3. PRODUCCION DE UN PRONOSTICO

La producción de un pronóstico, incluye desde la toma de datos en tiempo real hasta la emisión del Boletín de Alertas ( Ver Fig. No.2).

#### 3.1 Toma de Datos

- 6 a.m. Toma de datos estaciones hidrométricas
- 7 a.m. Toma de datos pluviométricos

#### 3.2 Transmisión y Recepción de Datos

A partir de las 7:30 a.m. se establece comunicación directa entre los sitios de control y el Centro Nacional de Comunicación de Alertas. Se obtienen así los datos en tiempo real, tanto de niveles hasta la hora 6 del día, como de precipitación en las últimas 24 horas hasta las 7 a.m. del día de la transmisión.

#### 3.3 Recepción y Verificación de la Información

Hasta las 11:00 a.m. en el Centro de Cómputo y Coordinación se reciben los datos y se hace la verificación de la información hidrometeorológica.

La verificación de la información consiste en analizar la confiabilidad y representatividad de los datos obtenidos; se examina la consistencia de la información respecto a situaciones registradas en días anteriores; se descarta la información no confiable y se confirman situaciones de eventos hidrometeorológicos de días anteriores.

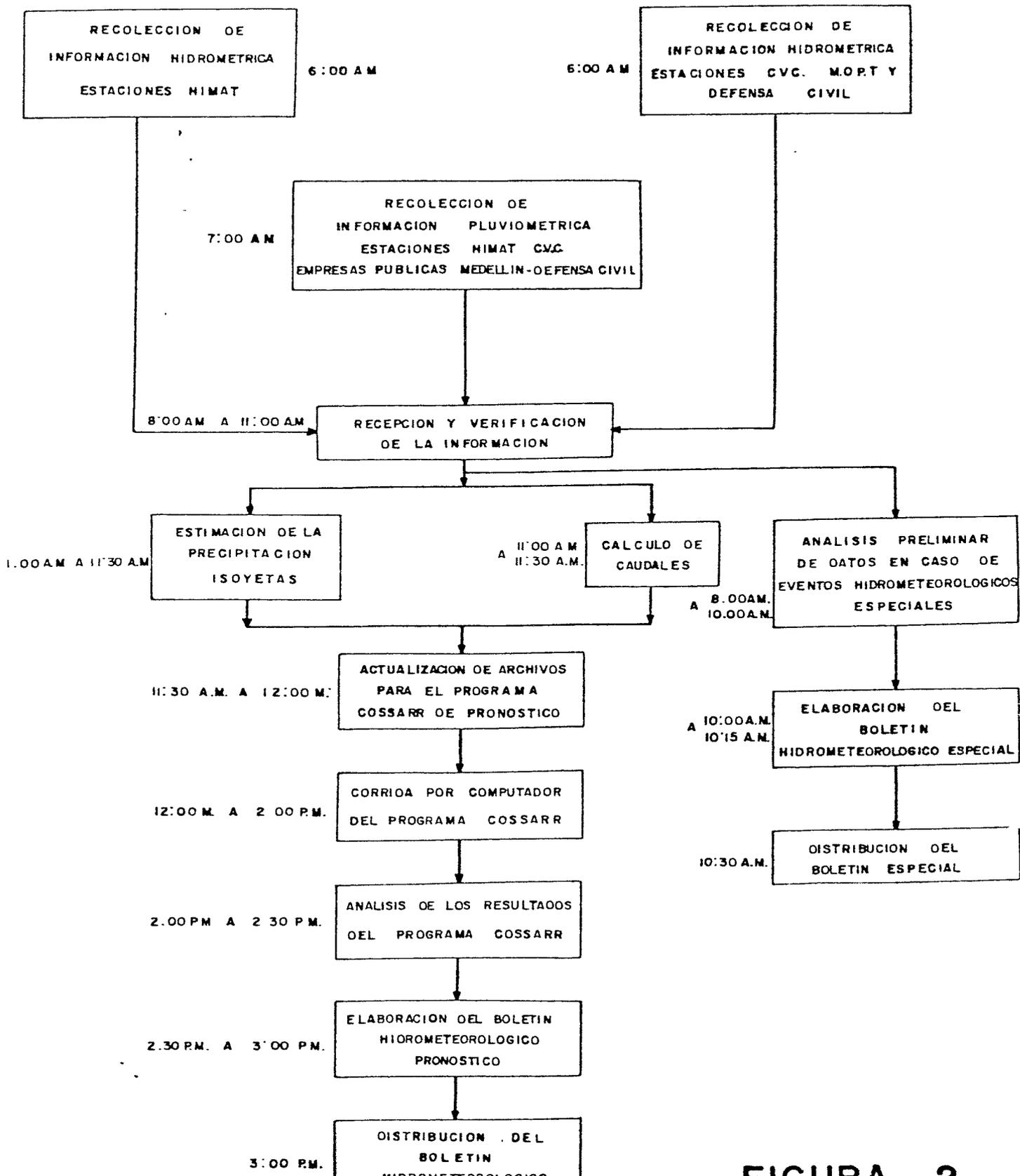
En caso de información faltante de carácter hidrométrico, el Proyecto ha realizado estudios al respecto y mediante correlaciones entre los puntos de control, se pueden establecer con buena aproximación los niveles faltantes.



HIMAT

# ESQUEMA PARA PRODUCIR UN PRONOSTICO

- 16 -



En esta etapa, también se comparan en formatos especiales, los niveles observados con los pronósticos 24 horas antes y se establecen así los márgenes y porcentajes de error y en última instancia la confiabilidad del pronóstico.

### 3.4 Estimación de la precipitación media y cálculo de caudales

A partir de las 11 a.m. y con los datos en tiempo real recibidos, se inicia la preparación de la información necesaria para la corrida del modelo matemático de simulación, utilizado para el pronóstico. Mediante programas de computador se elabora el mapa de isoyetas correspondientes a las lluvias de las últimas 24 horas. A su vez y también por computador se preparan los datos de caudales correspondientes a las estaciones hidrométricas del Proyecto.

### 3.5 Modelo COSSARR

Depurada y analizada la información, se procede a efectuar la corrida por computador para obtener el pronóstico, mediante el modelo matemático COSSARR. Aunque no es el objeto del presente escrito, se hará una breve descripción del modelo.

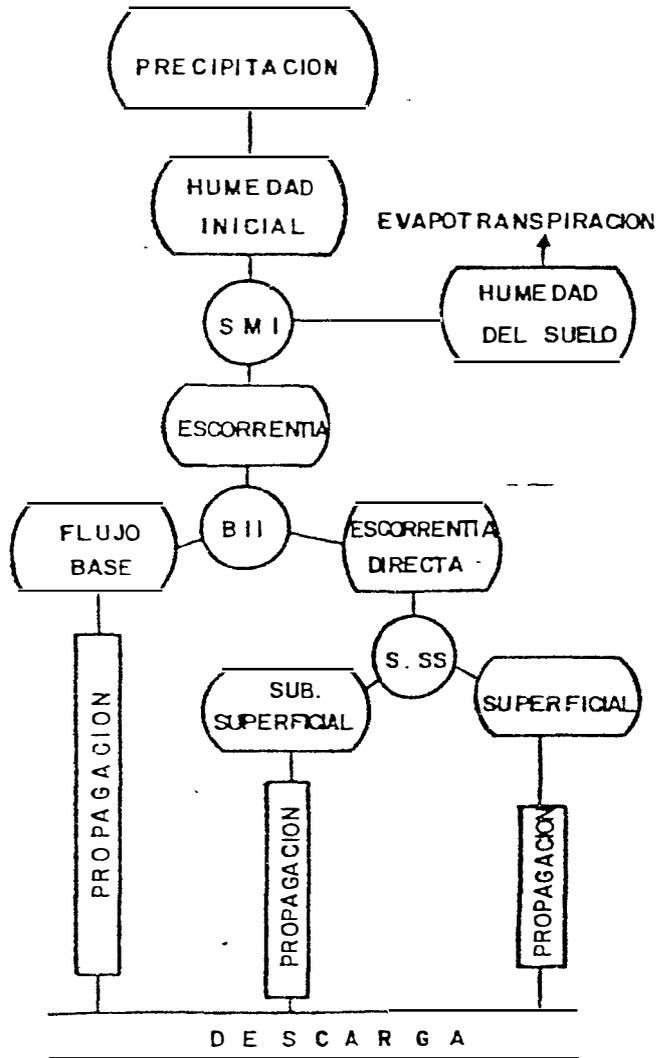
El modelo COSSARR desarrollado por el cuerpo de ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, se seleccionó como el más adecuado para el proyecto por su adaptabilidad al minicomputador y a la información básica disponible, especialmente para la zona media y baja de la cuenca.

El resultado para las partes altas de la cuenca no ha sido el deseado, razón por la cual, actualmente se está estudiando la aplicación de otro modelo que sirva para obtener un mejor pronóstico.

El concepto básico del modelo COSSARR (Conversational Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) es crear un modelo matemático hidrológico para un sistema de cuenca río embalse, con el cual se generan caudales mediante la evaluación del proceso hidrológico total partiendo de la escorrentía debida a lluvias. El modelo involucra los parámetros más importantes del ciclo hidrológico como son la precipitación, humedad del suelo y escorrentía, con la posibilidad de deducir éstos mediante tablas que se ajustan por el método "prueba por error".

El modelo tiene tres componentes básicos:

1. MODELO CUENCA: Sintetiza la escorrentía a partir de las lluvias ( Ver Fig. 3).
2. MODELO RIO: Propaga la onda entre varios puntos, según la configuración elaborada.
3. MODELO REGULACION DE EMBALSES: Los caudales de entrada al embalse pueden ser operados como flujo libre según las características



MODELO COSSARR PARA CUENCA

FIGURA No 3

ticas específicas del embalse.

El modelo cuenca, involucra el cálculo de la precipitación y evapotranspiración sobre la cuenca. Se deben tener relaciones entre la humedad del suelo y escorrentía, humedad del suelo-evapotranspiración. El volumen de agua disponible como escorrentía se divide en flujo base, superficial y subsuperficial, contemplándose la propagación de dichos flujos.

En la figura 4, se presentan las curvas típicas que se emplearon en la primera fase de calibración del Modelo en el Bajo Magdalena (tramo Regidor -El Banco).

El Modelo río está compuesto por tres modelos de simulación, llamados canal o tramo (reach), lago (lake) y punto de transferencia (transfer point), pudiéndose tomar cada uno como una estación en la configuración del modelo.

En esta parte, se determina el tiempo de almacenamiento para la propagación de la onda en el canal, para lo cual se utiliza la ley de continuidad en la ecuación de almacenamiento.

### 3.6 Análisis de Resultados

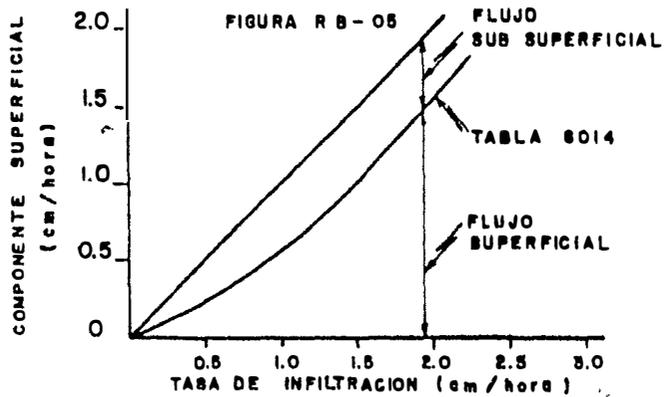
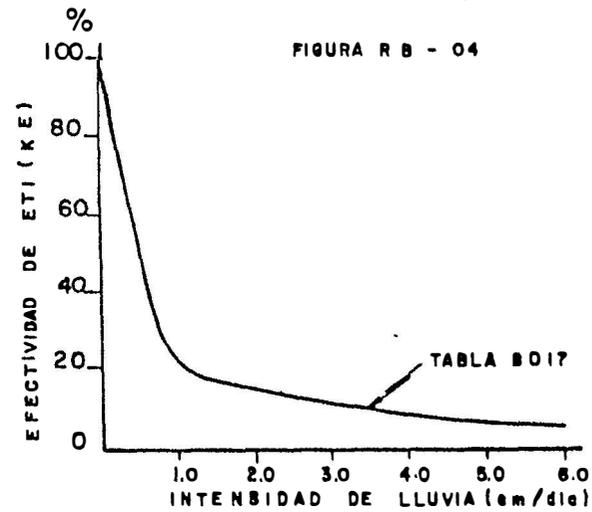
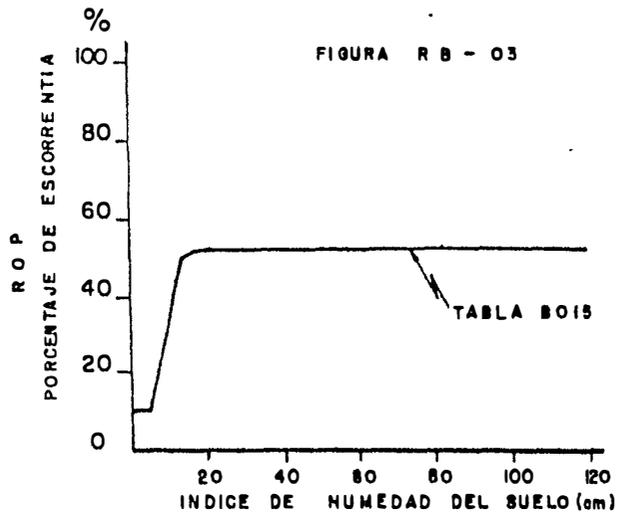
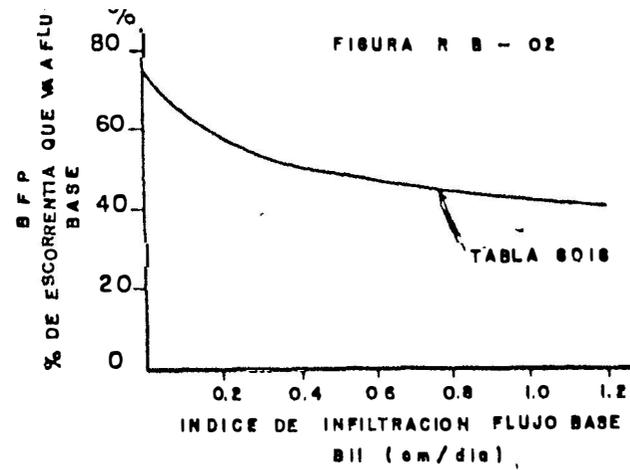
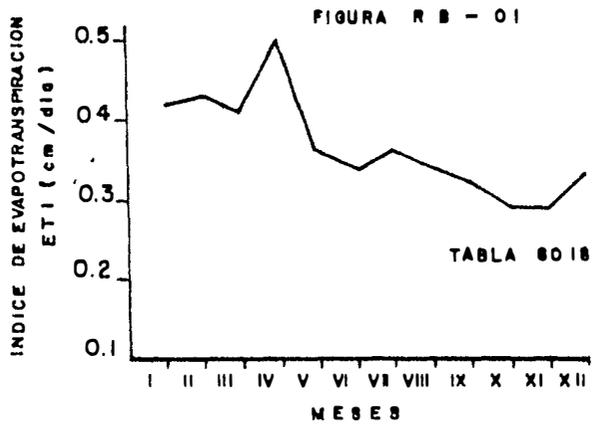
A las 2 p.m. una vez efectuadas las corridas de pronósticos, se analizan detenidamente los resultados del modelo y establecer así los pronósticos a divulgar, para un período máximo de 48 horas.

### 3.7 Boletín de Alertas

Con los análisis tanto cualitativos como cuantitativos se procede a emitir el BOLETIN DE ALERTAS HIDROMETEOROLOGICAS, el cual se hace también mediante un programa de computador.

El boletín de alertas entrega al usuario en forma práctica y lenguaje sencillo, toda la información necesaria respecto a posibles situaciones críticas y preferiblemente para períodos no mayores a 48 horas; está compuesto por la información recibida en tiempo real en la fecha de emisión del Boletín, avisos de Alertas, hidrogramas del comportamiento de niveles para el último mes y el mapa respectivo de Isoyetas para las últimas 24 horas.

Por otra parte, la necesidad de presentar una información cualitativa a nivel nacional que integre los aspectos meteorológicos e hidrológicos, considerada muy útil para DEFENSA CIVIL, medios de comunicación y el mismo HIMAT, dio origen al BOLETIN HIDROMETEOROLOGICO, cuya frecuencia de emisión sigue la misma filosofía del Boletín de Alertas que prepara conjuntamente con la Sección de Meteorología Sinóptica del HIMAT



- 20 -

FIGURA 4

		PROYECTO ACDI - HIMAT
<b>CURVAS TIPICAS</b> CUENCA REGIDOR - EL BANCO (SIN RIO CESAR) RIO. MAGDALENA		
FECHA:	28-V-80	ELABORÓ: B.M.B. P.H.C.
ESCALA:		DIBUJO: J.S.P.
FIGURA:		ARCHIVO:

#### 4. AUTOMATIZACION DE LA RED DE ALERTAS

La efectividad del sistema de predicción y alertas radica en la rapidez con que se obtiene la información de la red, la velocidad en el procesamiento de la misma, la obtención de resultados confiables y la rápida - difusión de éstos. Estos aspectos han incrementado la necesidad de obtener en "tiempo real" en forma más inmediata. Esta necesidad se puede encontrar solamente con el uso del sistema automático de telemetría.

Estos sistemas usualmente dependen del tradicional enlace por radio y teléfono y modernamente de la "telemetría" en la cual se usan satélites - espaciales ubicados en la órbita terrestre o sistemas de transmisión microondas VHF o UHF.

En general un sistema telemétrico, está compuesto de 4 elementos principales:

- a. SENSOR: mide y detecta los cambios de determinado parámetro.
- b. CODIFICADOR: Convierte los datos tomados por el sensor en forma disponible para transmisión.
- c. SISTEMA DE TRANSMISION: suministra el enlace del sensor a otro sitio seleccionado.
- d. RECEPTOR DE DATOS: descifra, clasifica, confronta y distribuye los datos de entrada.

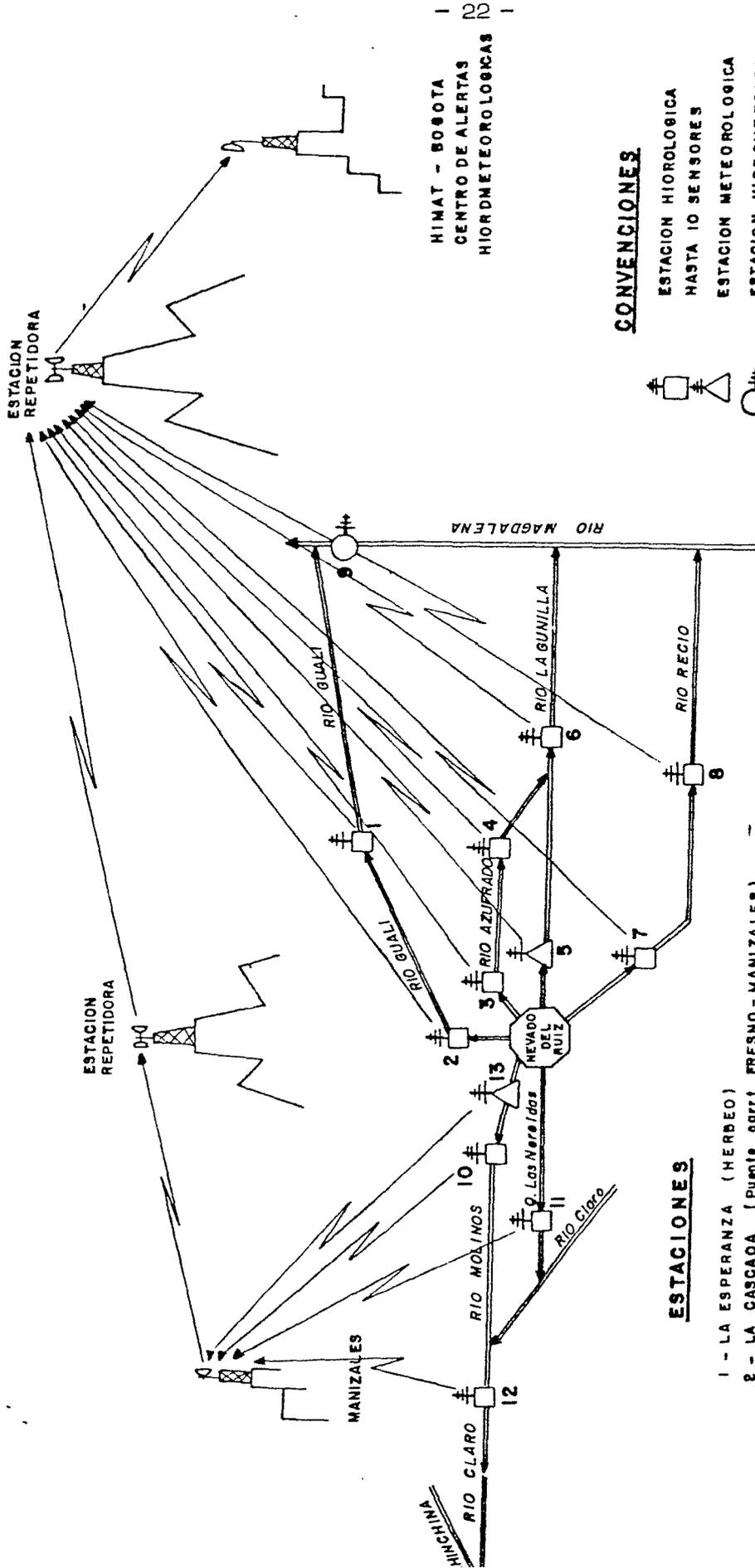
Los parámetros hidrométricos más comunes que se pueden obtener mediante los sensores y transmisión por telemetría son: nivel de agua, velocidad de la corriente, temperatura del agua, conductividad y oxígeno disuelto. En meteorología datos tales como precipitación, temperatura del aire, velocidad y dirección del viento.

Teniendo como premisa que con los sistemas telemétricos se pueden obtener datos en "tiempo real más breve" con mayor efectividad y calidad en cualquier sitio sin necesidad de observador, el HIMAT después de una asesoría inicial de la Organización Meteorológica Mundial OMM, en mayo de 1984 y ante las fatales consecuencias ocasionadas por el deshielo del Nevado del Ruiz del pasado 13 de noviembre de 1985 está incrementando y trabajando en el proyecto de automatización de las Estaciones Hidrometeorológicas que posiblemente con la ayuda de Cooperación Técnica Internacional y RESURGIR se logre montar, hecho que beneficiará no solo a la zona de emergencia sino que servirá como gran experiencia para extenderlo a otras estaciones hidrometeorológicas del HIMAT. Ver Fig.6.

#### 5. RESULTADOS

Considerando los objetivos a corto plazo alcanzados por el proyecto como un primer paso hacia un sistema completo de alertas en el país, los resultados se pueden considerar exitosos.

# SISTEMA DE AUTOMATIZACION RED DE ALERTAS NEVADO DEL RUIZ



HIMAT - BOBOTA  
CENTRO DE ALERTAS  
HIDROMETEOROLOGICAS

### CONVENCIONES

- ESTACION HIOROLOGICA  
HASTA 10 SENSORES
- ESTACION METEOROLOGICA
- ESTACION HIDROMETRICA
- TRANSMISION
- CORRIENTE

### ESTACIONES

- 1 - LA ESPERANZA (HERBEO)
- 2 - LA CASCADA (Puente carrt. FRESNO-MANIZALES)
- 3 - EL PUENTE (sobre carrt. FRESNO-MANIZALES)
- 4 - CASABIANCA
- 5 - LA CABAÑA (Puente carrt. FRESNO-MANIZALES)
- 6 - SIRPE (Libano aguas abajo confluencia R. AZUFRAO)
- 7 - EL OSO
- 8 - LA ESTRELLA (MURILLO)
- 9 - ARRANCAPLUMAS (NONDA)
- 10 - LAGUNA BAJA (MONTENEGRO)
- 11 - EL TERMINAL (Antes confluencia R. CLARO)
- 12 - STO. DOMINGO (MIRAFLORES)
- 13 - EL REFUGIO

HIMAT	DIVISION DE HIDROLOGIA SECCION HIDROLOGIA APLICADA
SISTEMA DE TRANSMISION MICROONDAS VHF, UHF	
PROGRAMA ALERTAS HIDROMETEOROLOGICAS	

La calibración del Modelo COSSARR de la etapa premilinar se probó en el segundo período de niveles altos de 1979 para las cuencas Magdalena y Cauca con resultados bastante satisfactorios. Las zonas de pronóstico se concentraron para el Bajo Cauca, Medio y Bajo Magdalena. Actualmente la configuración del Modelo COSSARR para las cuencas contempla no solo las longitudes de los tramos, áreas, sino los "tiempos de viaje" de las crecidas para cada tramo.

Un breve análisis cualitativo de la bondad del pronóstico en estos últimos 6 años puede ser el siguiente:

En el Bajo Magdalena, los resultados fueron más acertados, no obstante presentarse el problema de grandes almacenamientos en la zona lacustre. El grado de confiabilidad del pronóstico fué entre el 90 y 95% en cuanto a los valores de niveles y caudales, mientras que para la fecha de los eventos pronosticados de crecidas se lograron mayores aciertos (errores no superiores a 4 horas). Para el mismo año en la zona del Medio Magdalena y Bajo Cauca los resultados aunque aceptables, presentaron menor grado de confiabilidad (entre 80 y 90%). Esto se debió, para el Medio Magdalena a las propias características de la corriente en la zona y en el Bajo Cauca a la poca cobertura de estaciones hidrometeorológicas.

Para la temporada de aguas altas de 1980, después de efectuadas la recalibraciones del modelo, muestran aparentemente resultados muy semejantes. Cabe anotar que 1980 se presentó como un año bastante seco y no se registraron inundaciones de consideración.

Es conveniente resaltar que en 1981 y 1982 los períodos de mayor crecida de aguas altas, se presentaron en el mes de junio contrario a lo que estadísticamente e históricamente ha sido el comportamiento normal en el Bajo Cauca y Magdalena, razón por la cual la bondad del pronóstico fué menos exitosa.

En 1983, no se presentaron inundaciones de consideración, y puede afirmarse que este año se consideró como uno de los más secos, ligeramente por encima del año más seco en promedio (1980) con valores más bajos en tal período de aguas altas (noviembre y diciembre).

En noviembre de 1984 se presentaron crecidas e inundaciones considerables (solo superadas en 1975) en las cuales, habida cuenta de la experiencia de eventos anteriores, la bondad del pronóstico fué realmente exitosa.

Por otra parte, en el Alto Magdalena y Cauca por obvias razones, el grado de confiabilidad es menor (alrededor del 80%) pero debemos tener en cuenta que el período de pronóstico es muchísimo menor (no superior a 12 horas).

En el aspecto económico se considera, a juzgar por las experiencias de países que cuentan con programas de Alertas similares, que la previsión hidrológica permite lograr una relación costo-beneficio del orden de 1:10, incluyendo en el sistema las acciones correctivas.

En los tres primeros años el costo total de organización del proyecto fué de US\$1'200.000 (1977-1980) incluido el aporte a la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (ACDI); resulta que inclusive en el primer año de la predicción y Alertas arrojó beneficios altamente satisfactorios, lo que sin dudas justifica la inversión.

Para mantener en funcionamiento las actividades del Proyecto, los costos han disminuído en cifras que actualmente son del orden de \$13'000.000 por año, mientras que el monto total de las pérdidas y daños, en caso de no tomar medidas, subiría continuamente. La cuantificación de los correctivos y beneficio del programa de Alertas no es fácil hacerla debido a la información variada y dispersa. De hecho, salvar solo una vida humana, justifica la inversión en el proyecto.

En general, los principales beneficios que el Proyecto de Alertas ha presentado al país son:

- Capacitación de personal colombiano en la predicción de crecidas.
- Poseer la red de recolección de datos y comunicaciones en tiempo real.
- Tener un sistema computarizado de predicción con emisiones de Boletín de Alertas . .
- El HIMAT, en esfuerzo combinado con la Defensa Civil Colombiana, principal usuario del Boletín, participa en las "Alertas" a la población de las áreas en las que se pueden producir crecidas. Según los reportes de la Defensa Civil, la disminución de costos al montar ésta los operativos y medidas de protección en las zonas de posible riesgo, ha sido altamente satisfactoria, ya que se hace de acuerdo con el "Aviso del HIMAT" en un tiempo prudencial y adecuado para tomar las medidas del caso.

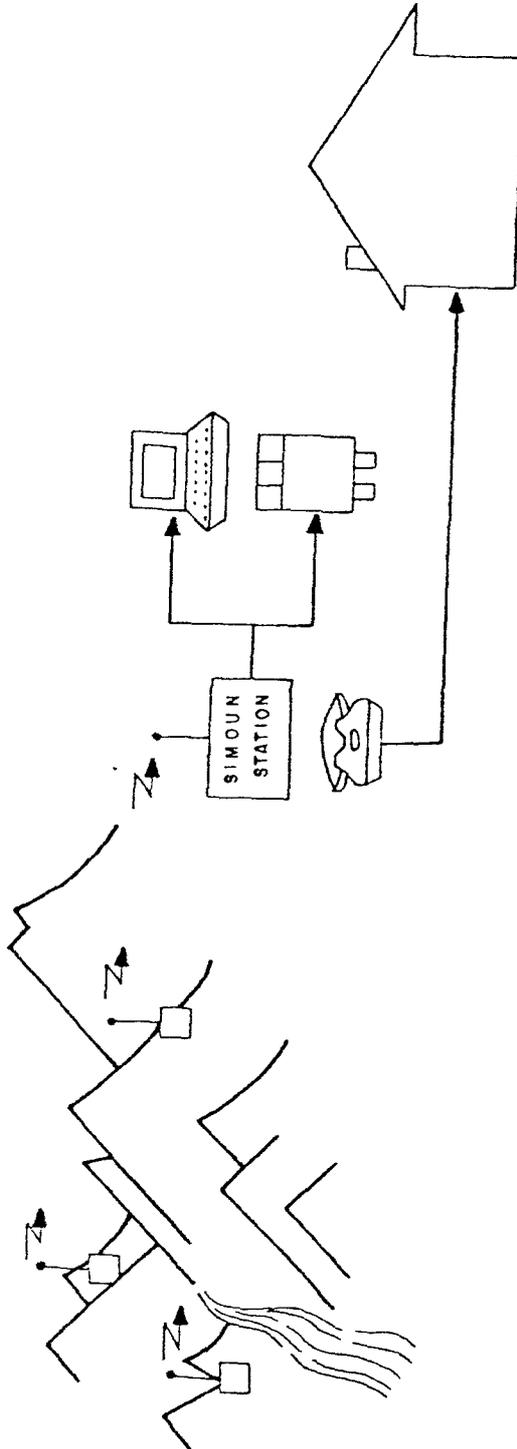
## 6. CONCLUSIONES

La aplicación del Modelo Matemático COSSARR continúa en etapa de desarrollo; por otra parte hay la necesidad de implementar un modelo para crecidas rápidas. Modelos de esta naturaleza siempre serán susceptibles de mejorar y su ajuste siempre será etapa continua en el proyecto, lo cual implica el mejoramiento y ampliación de los siguientes factores:

- a. Aumento de la red de observaciones y transmisión en tiempo real, con mayor énfasis en estaciones de precipitación, de manera tal que la información de entrada en los modelos sea más representativa.
- b. Aplicación del Modelo a subcuencas tributarias del Magdalena y Cauca, especialmente en las zonas altas y medias (cuencas R. Saldaña, Paez, La Vieja, Nare, Sogamoso, Suárez Otún, entre otros de alta influencia en la corriente principal).
- c. Mejoramiento de la red de transmisiones: preferiblemente instalar estaciones automáticas que permitan un sistema de predicción en línea.
- d. Estudios topográficos con el fin de obtener el mapa de inundaciones a nivel nacional.
- e. La aplicación de la interpretación de imágenes de satélite, se presenta como un arma muy valiosa para el análisis de la precipitación.
- f. Deben intensificarse los estudios de Alertas para épocas de estiaje, que serán muy útiles tanto para las zonas con navegación fluvial como para el manejo del recursos hídrico; puede afirmarse que una sequía produce más daños a la economía del país que las mismas inundaciones.
- g. Se hace necesario iniciar un sistema de alertas, en otras cuencas que por efecto de inundaciones causan graves daños a la economía nacional y a los habitantes de esas zonas. En este aspecto, el HIMAT deberá emprender el programa en otras cuencas (río Sinú, río Meta).

BIBLIOGRAFIA

- Estudios sobre desastres: Defensa Civil Colombiana. Junio de 1978.
- User Manual for SSARR Model. U.S. Army Engineer División
- Predicción y Alertas Hidrometeorológicas en las cuencas Magdalena y Cauca. Informe final Proyecto Colombiano AES-ACDI.
- ✓ Transmisión de datos en tiempo real y producción de un pronóstico Gabriel E. Chitiva B. HIMAT Bogotá Colombia. Mayo de 1981.
- Proyecto Cuenca Magdalena-Cauca. Convenio Colombo-Holandés. Informe Final 1977.
- Enlace Hídrico Mundial y Recursos Hidráulicos de la Tierra. Instituto de Hidrología/UNESCO.
- Discharge of selected rivers of the world. UNESCO/OMM
- The Use of Satellites in Hydrometry - Robert A. Holliday/OMM
- Sistema de Predicción de Alertas Hidrometeorológicas en Colombia Gabriel E. Chitiva -J.A. Herrera- HIMAT- Noviembre de 1983.



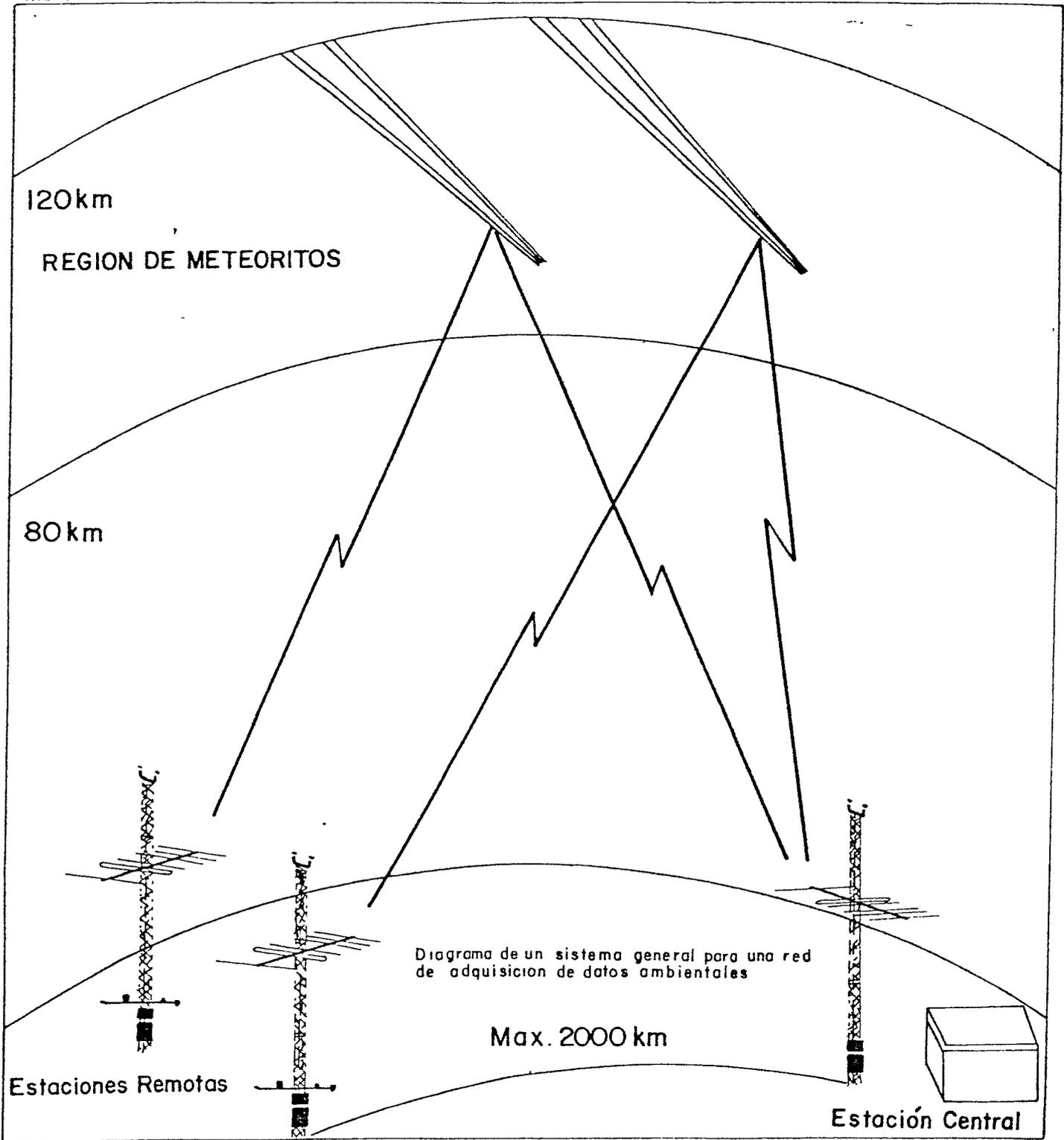
HIDROLOGIA

EJEMPLO: RED PARA PRONOSTICO DE INUNDACIONES QUE INCORPORA UNA SERIE DE ESTACIONES SATELITE PARA ADQUISICION DE DATOS (LIMNIMETRO PLUVIOMETRO, Etc.) CONECTADOS POR RADIO A UNA ESTACION COORDINADORA CENTRAL DE LA RED.

LA ESTACION CENTRAL PROCESA LOS PARAMETROS Y PROVEE GRAFICOS, LISTADOS Y DISTRIBUCION DE LOS RESULTADOS DE LA INFORMACION.



# SISTEMA DE TELEMETRIA "METEOR SCATTER"

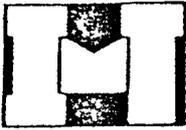


## Características

- Amplia cobertura
- Operación Independiente
- Facilidad de formación de redes
- Operación a bajo costo
- Seguridad en comunicaciones
- Modulación FFSK

## Aplicaciones

- Redes para observación de datos ambientales en meteorología, hidrología, etc.
- Comunicación de mensajes.



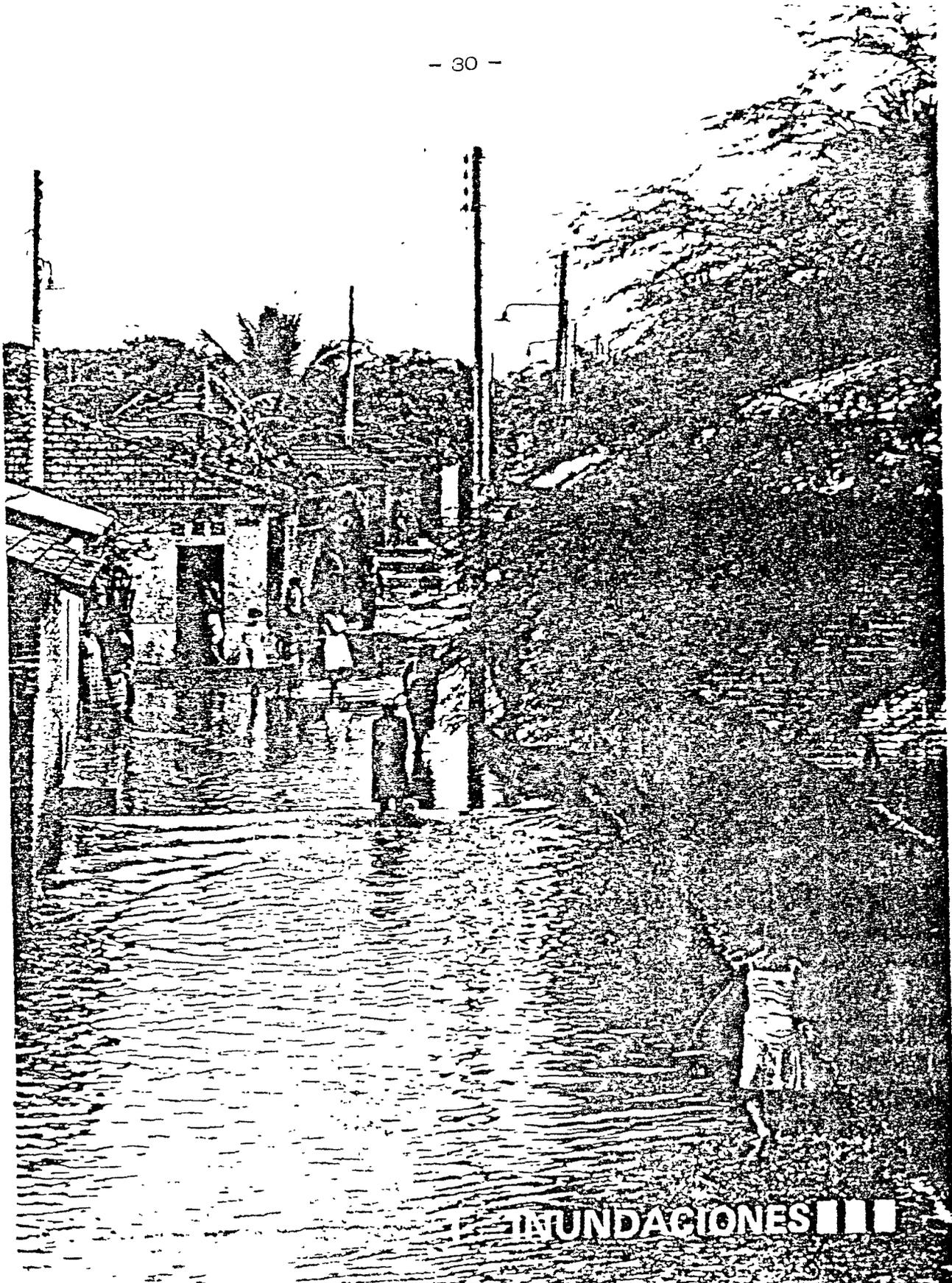
REPUBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE AGRICULTURA

**HIMAT**

INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ADECUACION DE TIERRAS

# INUNDACIONES



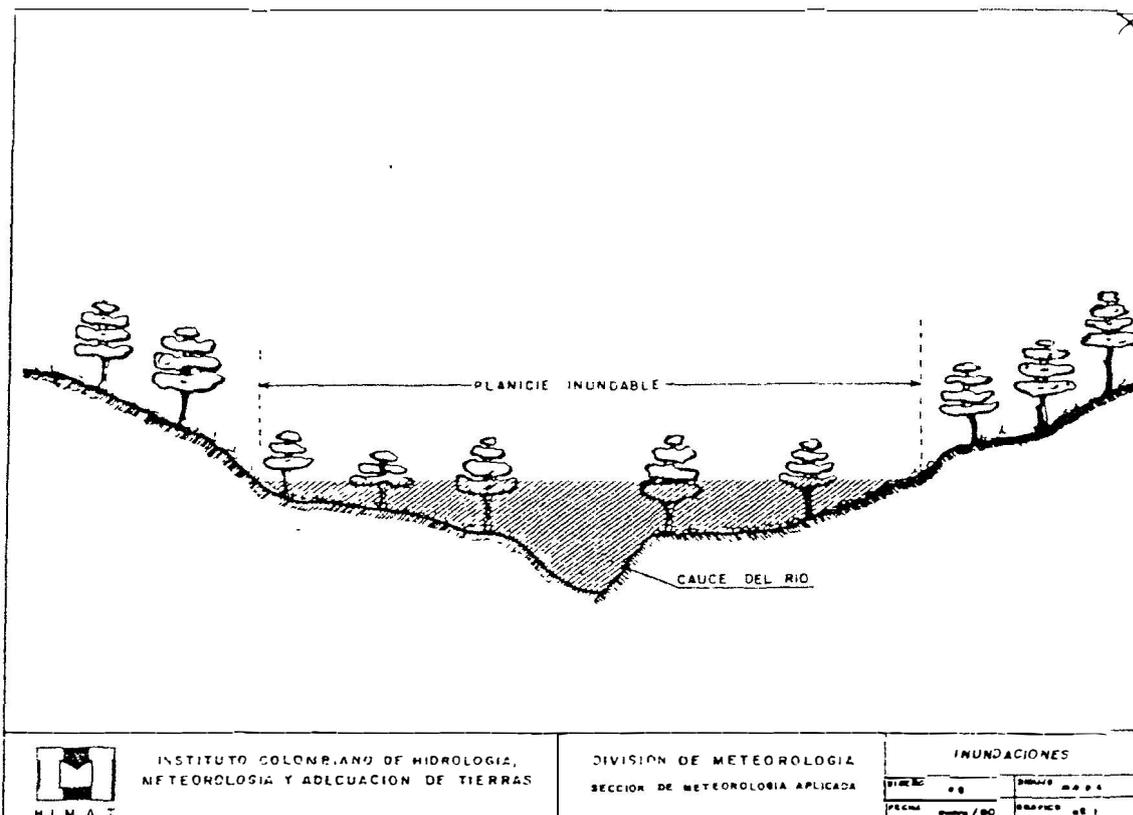


FUNDACIONES ■■■

Las inundaciones se presentan casi todos los años en Colombia, con mayor o menor intensidad y, dependiendo de ella, con mayores o menores pérdidas tanto en viviendas, sembrados, semovientes y hasta vidas humanas, en el peor de los casos. Uno de los factores principales de las inundaciones son las copiosas lluvias que caen en los meses considerados de invierno, como son principalmente abril y mayo en el primer semestre del año y octubre y noviembre en el segundo semestre. El panorama de grandes extensiones de tierra inundadas por los ríos salidos de sus cauces es algo muy común para los colombianos desde tiempos remotos, según relatos existentes sobre inundaciones.

Sin embargo, en la actualidad nos encontramos con un aspecto relativamente nuevo y es el del dramático poder devastador de las inundaciones, cosa que muy posiblemente en épocas anteriores sólo se hubiese considerado como un caso extremo de aguas altas. Ciertamente, las inundaciones no han cambiado en sí mismas sino que los daños causados han aumentado considerablemente debido a que no nos hemos hecho a la idea, y mucho menos la hemos aceptado, de que la ribera de los ríos (planicie inundable) les pertenece por naturaleza y que las aguas altas (inundaciones) también hacen parte de su régimen. Así pues, cuando ocupamos estas zonas, lo hacemos por nuestra cuenta y riesgo.

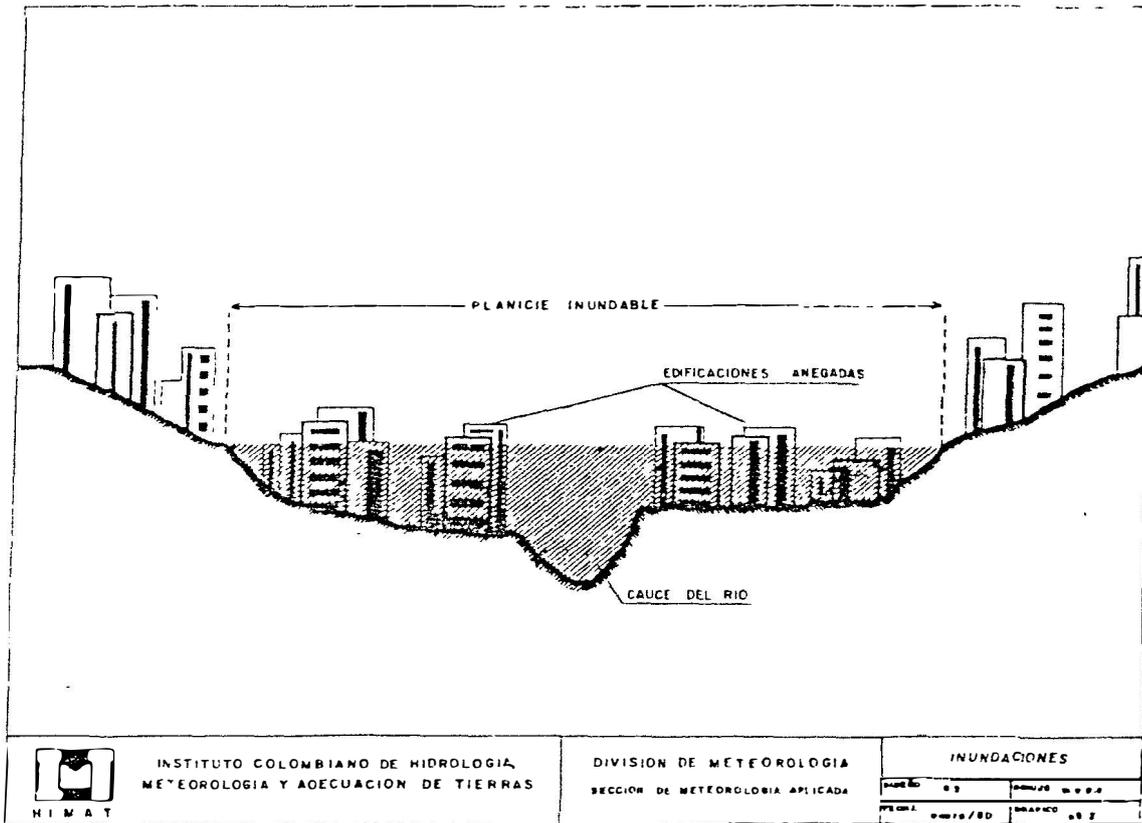
## 2. LA PLANICIE INUNDABLE



La planicie inundable es aquella parte de tierra plana o ligeramente pendiente localizada a ambos lados del río y que puede ser inundada durante el período de aguas altas o crecidas. Re-

visando los registros de los ríos cuyas áreas aledañas son propensas a inundarse, siempre presentan un patrón de inundación en la planicie inundable que estamos considerando

### 3. DAÑOS POR INUNDACIONES

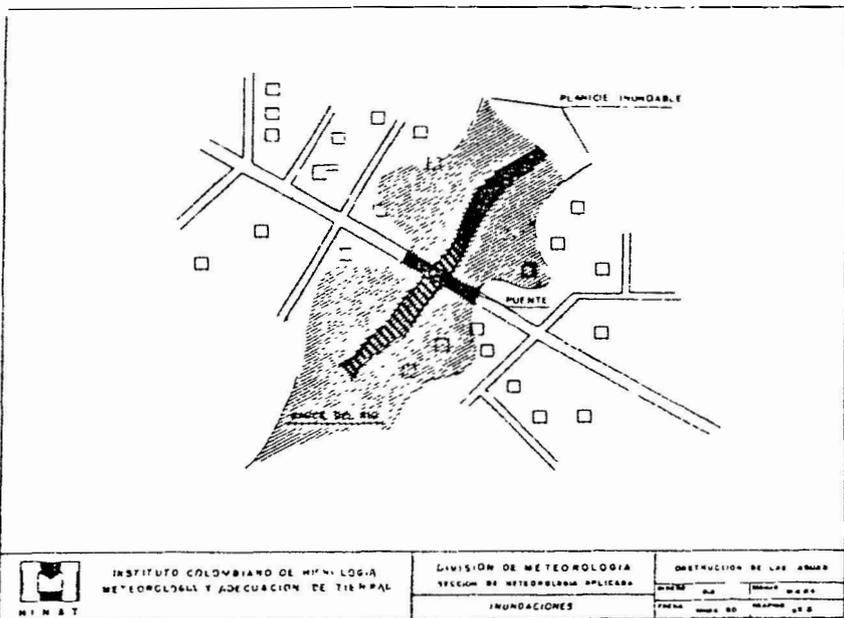
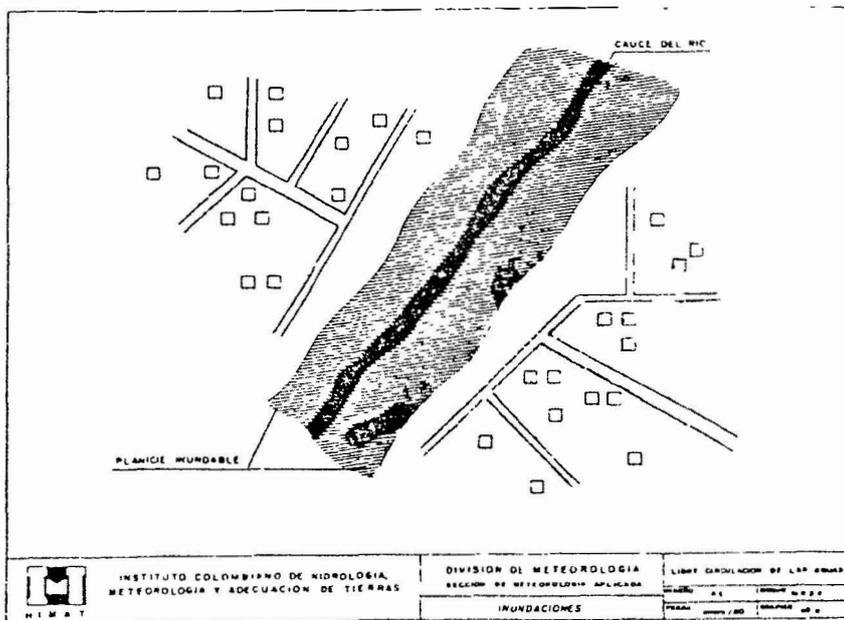


Los daños por inundación se presentan cuando por desconocimiento del problema o por la poca impor-

tancia o atención que prestan al posible peligro, las personas construyen viviendas en esas áreas.



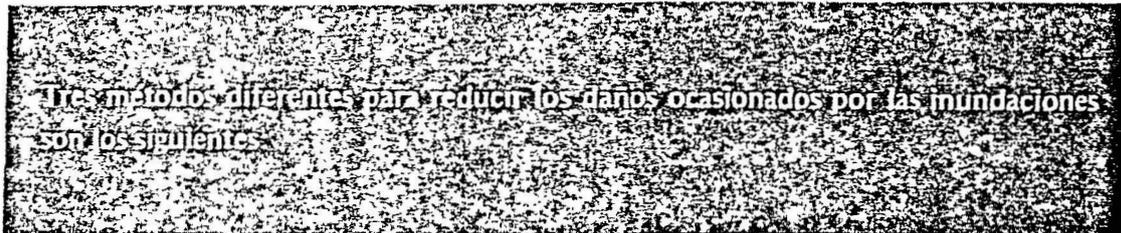
## 4. AGRAVANTES



En la planicie inundable las edificaciones, los puentes y otra serie de estructuras pueden impedir el paso

normal de las aguas altas y contribuyen a agravar el problema aguas arriba.

## 5. SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE INUNDACION



### 5.1 Construcción y mantenimiento de estructuras especiales

Cuando en la planicie inundable ya se han establecido las personas y existe el problema de las crecidas recurrentes, la construcción de obras civiles tales como presas y reservorios, diques, mejoramiento de canales y desviaciones, con el objeto de controlar la magnitud, el tiempo o el área

de inundación, son una alternativa que debe ser considerada. Empero, estas obras por si solas generalmente no garantizan una seguridad del 100% contra el peligro de inundación y además están sujetas a las condiciones específicas del sitio y a su factibilidad económica.





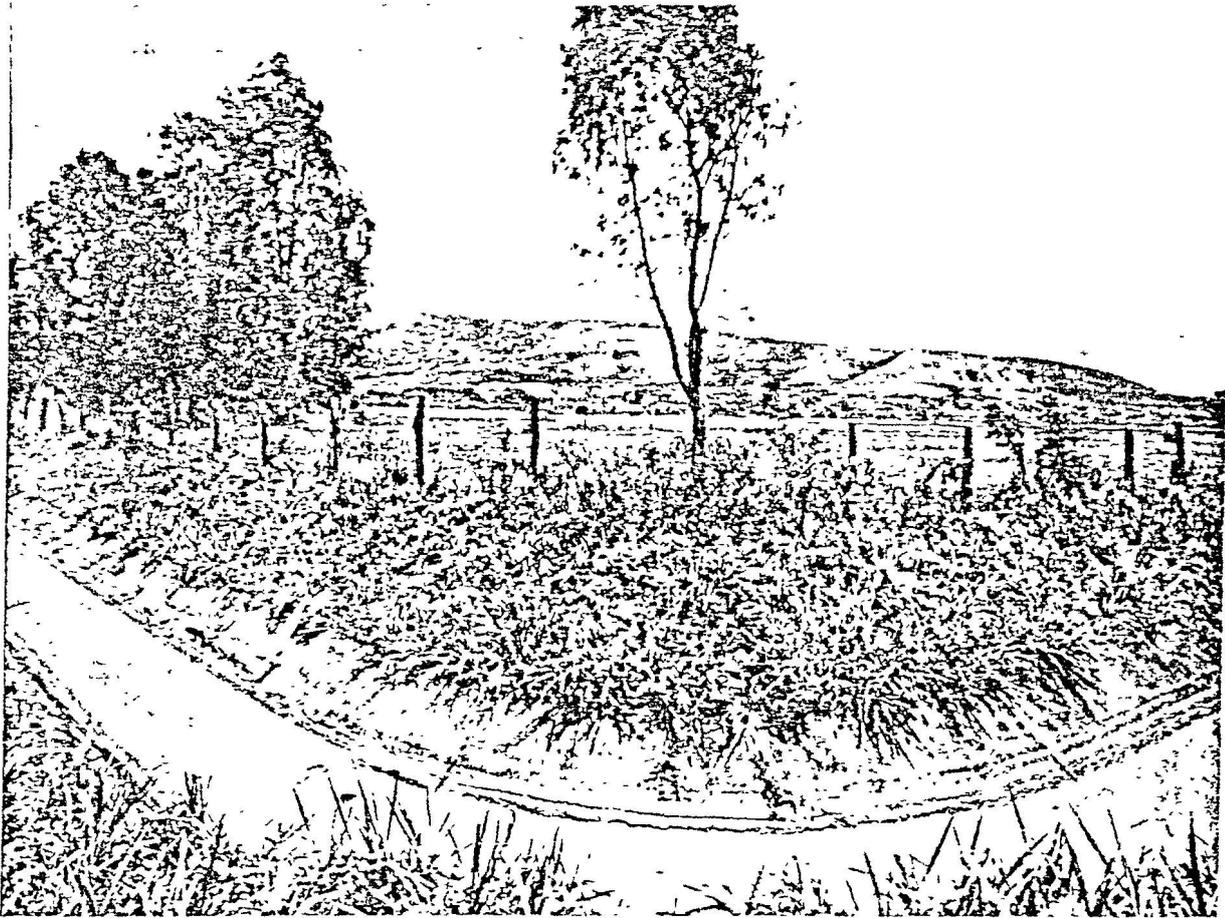
### 5.1.2. Diques



Son empleados como barreras de protección, para mantener las aguas en el cauce principal del río. En algunas ocasiones son superados por las aguas

y los daños pueden ser mayores porque las personas se confían demasiado y olvidan prepararse con tiempo para una posible emergencia





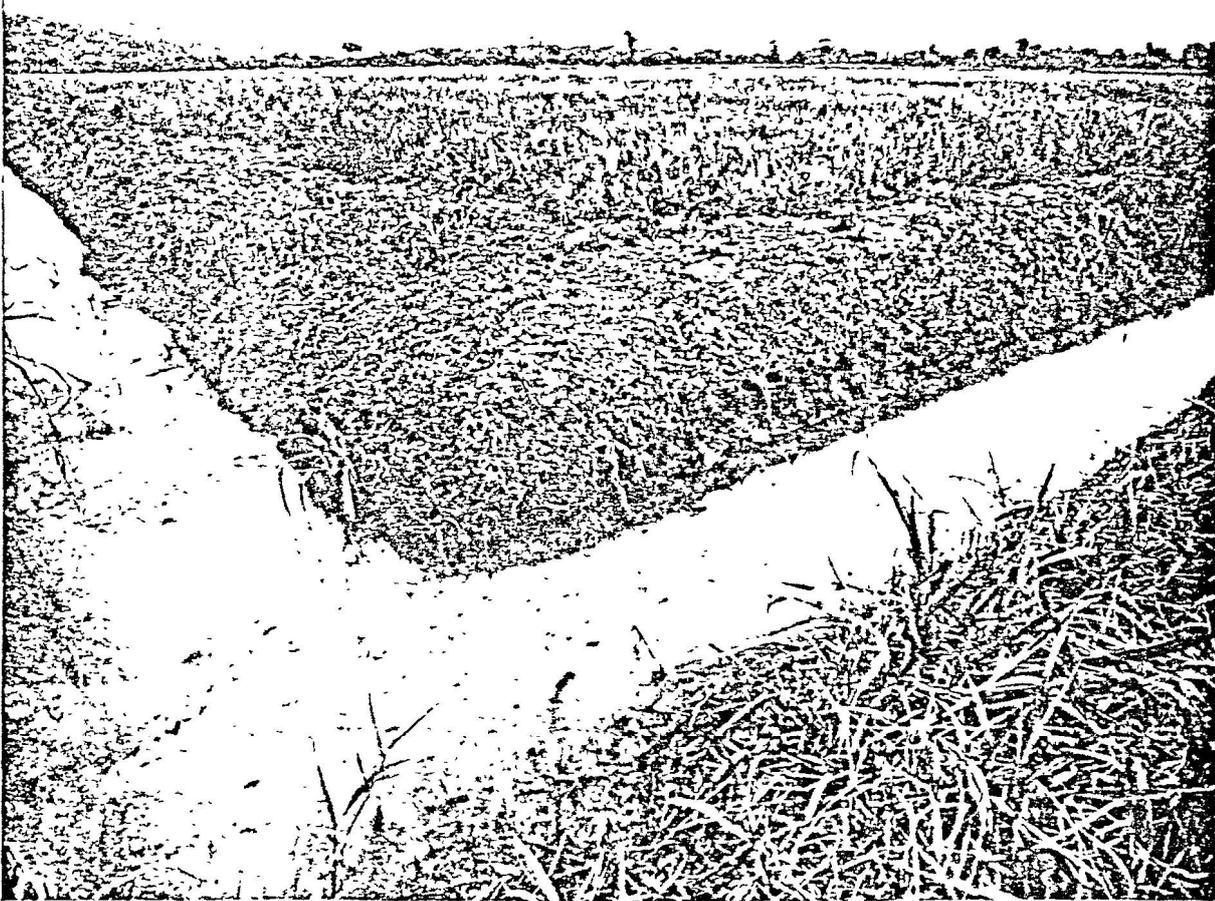
### ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ 5.1.3. Mejoramiento de Canales

Corresponde a todos aquellos trabajos que tienden a facilitar la evacuación de los excesos de agua en forma rápida y segura a través de los canales existentes, mediante dragados que los mantengan limpios, o mediante su

ampliación y profundización, que aumenta su capacidad total. Lógicamente, las aguas de inundación deben ser conducidas a las partes donde no causen problemas, pues de lo contrario contribuirían a agravar la situación.

### 5.1.4. Desviaciones

Son canales artificiales secundarios utilizados para aliviar los excesos de agua que en un momento dado pueden hacer superar la capacidad total del canal principal.



### 5.1.5 Impermeabilización

Que consiste en tratar de reducir al mínimo todas las aberturas y demás entradas por las cuales se pueda filtrar el agua en las edificaciones.

Unido a lo anterior, se debe buscar que las edificaciones sean construidas con cierta elevación sobre el terreno

## 5.2. Predicciones y Avisos

Son todas aquellas otras medidas encaminadas a prevenir y/o reducir los daños ocasionados por las inundaciones. La principal de ellas es el pronóstico de inundaciones, cuyo objetivo principal es el de alertar con la debida anticipación tanto a las personas que habitan en las riberas de los ríos (planicies inundables) como a los distintos organismos nacionales de emergencia sobre las posibles avenidas que se pueden presentar en los meses críticos de lluvias, permitiendo de esta manera una acción coordinada para la evacuación de las áreas que así lo requieran.

## 5.3. Controles Oficiales

Consisten en la reglamentación legal sobre el establecimiento de personas en las áreas susceptibles de inundación. Este tipo de control, manejado en una forma apropiada y conveniente, puede convertirse en una de las mejores defensas contra los daños causados por las inundaciones.

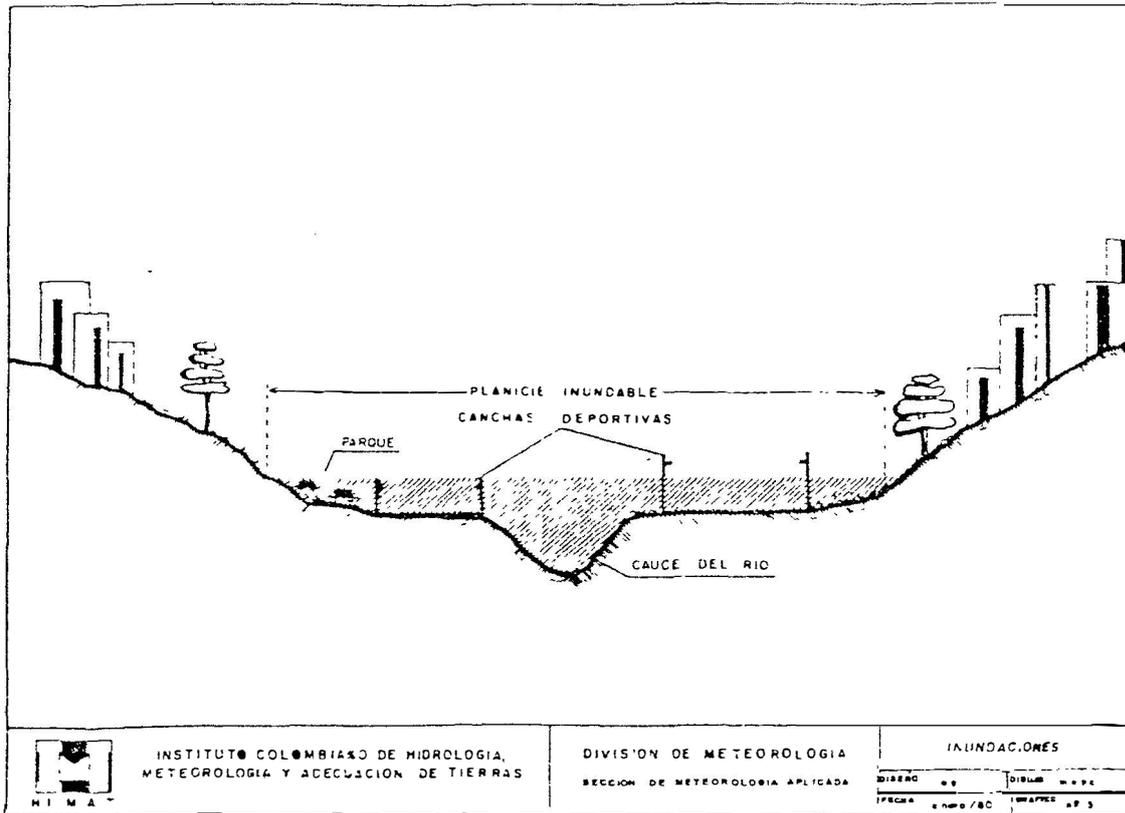
## 6. MEDIDAS DE EMERGENCIA

En las zonas en las cuales no existen obras de protección y las personas ya se encuentran establecidas, la mejor forma de contrarrestar o al menos reducir los daños por las inundaciones es la acción conjunta de los diferentes ORGANISMOS NACIONALES que ayudados por el PRONOSTICO SOBRE AVENIDAS suministrado con el

suficiente tiempo de anticipación, puedan adoptar algunas medidas de emergencia, como la construcción de diques temporales, (con sacos de arena u otros materiales) o proceder, en casos extremos a la evacuación de las áreas inundadas y el traslado de personas, semovientes, etc

## 7. RECOMENDACIONES EN EL CASO DE INUNDACION

- 7.1- Cuando escuche los avisos o se entere del peligro de crecida, empaque las pertenencias que así lo permitan, tanto suyas como las de su familia y esté preparado para salir en cualquier momento.
- 7.2- En el caso de poseer radio transistor sintonícelo en alguna de las emisoras.
- 7.3- Es muy necesario tener linterna con sus correspondientes repuestos de pilas.
- 7.4- Si tiene alguna maquinaria pesada, engrásela
- 7.5- Amarre todas las pertenencias que puedan estar sueltas y colóquelas en un lugar alto si es posible.
- 7.6- Desconecte todos los artículos eléctricos y asegúrese de cerrar bien las llaves de los cilindros de gas.
- 7.7 Mantenga libre de basuras y desperdicios los sifones



## 8. MANEJO DE LA PLANICIE

### INUNDABLE

Hay dos principios básicos que pueden ser aplicados en la reducción de los daños por las inundaciones:

- 1— Mantener las aguas alejadas de las edificaciones y de la gente y
- 2— Mantener las personas y las construcciones alejadas de las áreas susceptibles de inundaciones.

Sin embargo, la mejor prenda de garantía y la más segura, contra las inundaciones recurrentes es la de reconocer que la planicie inundable

hace parte natural e inseparable del río y que por lo tanto no se debe permitir por ningún motivo establecerse allí permanentemente. En el caso de que se necesite utilizar estas zonas, lo más aconsejable es construir obras, tales como canchas deportivas (balompié, baloncesto, volibol, etc.) parques, estacionaderos, etc., las cuales en caso de sufrir daños, las pérdidas económicas no son de gran magnitud.

