

IV ENCUENTRO NACIONAL CLIMA, AGUA Y TIERRA  
IV Jornadas Nacionales de Hidrología, Meteorología y Climatología  
IX Jornadas de Riego y Mejoramiento de Tierras  
Caracas, 23 al 26 de Marzo de 1992

# PONENCIAS

Caracas, 23 al 26 de Marzo de 1992



**IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA,  
METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA**

**PONENCIA**

Tomo 2

Caracas, 23 al 26 de Marzo de 1992

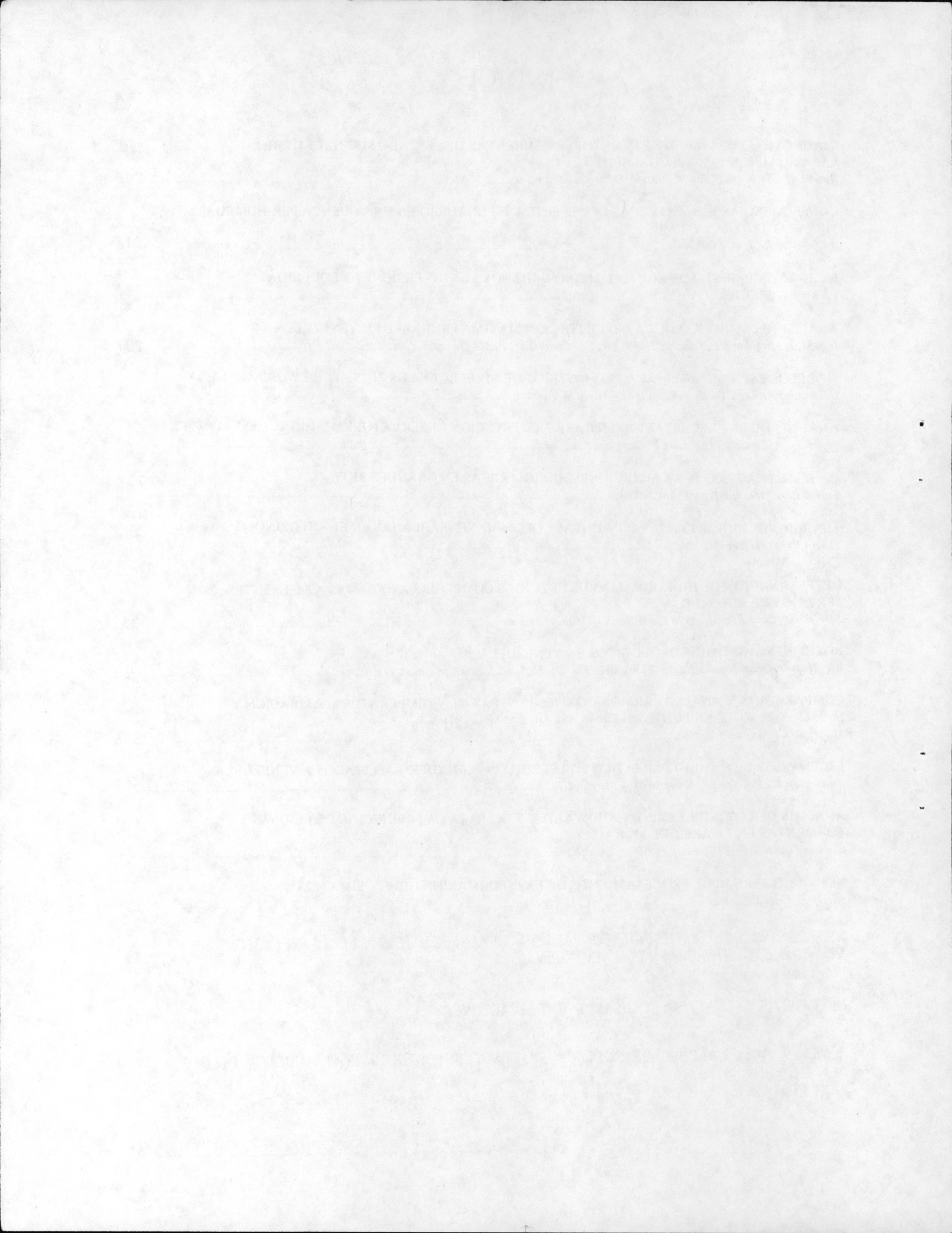
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA  
METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

PROGRAMA

TOMO 2

# INDICE

DIAGNOSTICO DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL DEL ESTADO SUCRE. CRITERIO PARA SU MEJOR APROVECHAMIENTO <i>Rubén Aparicio, Dominga V. Bottini y Maritza Medina</i> .....	200
CONSECUENCIAS HIDROLOGICAS DEL EFECTO INVERNADERO EN UNA CUENCA PER-HUMEDA TROPICAL (RIO CATATUMBO) <i>Andressen, R., B.R. Rincón</i> .....	213
EL ABASTECIMIENTO DE AGUA AL MEDIO URBANO Y LAS INVERSIONES REQUERIDAS PARA EL PERIODO 1990-2010 .....	221
ANALISIS ESTADISTICO DE LA PRECIPITACION MAXIMA PROBABLE EN VENEZUELA <i>Ing. Marcelo González Sanabria y José R. Córdova e Ing. Pablo Guzmán</i> .....	231
MODELOS ESTADISTICOS PARA PRONOSTICOS DE NIVELES EN LOS RIOS APURE Y ORINOCO <i>Orlandino Arteaga T., Karl-R. Nippes y Silviu Stanescu</i> .....	248
ANALISIS DE LA PRECIPITACION EN CARACAS, ESTACION OBSERVATORIO CAGIGAL (1891 - 1989) <i>Ing. Edgar Martiena, Ing. Luis F. García</i> .....	256
UN BOTE PRACTICO PARA MEDICIONES HIDROLOGICAS EN GRANDES RIOS <i>David Pérez Hernández y Frank Meader</i> .....	268
MEDICIONES HIDROLOGICAS CONJUNTAS COLOMBO-VENEZOLANAS EN EL RIO ORINOCO <i>David Pérez Hernández</i> .....	275
DETERMINACION DE HIDROGRAMAS DE CRECIDAS COMPLEJAS ASOCIADAS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO <i>José R. Córdova R. y Marcelo González S. y Manuel Matute</i> .....	287
BOLETINES AGROMETEOROLOGICOS EN VENEZUELA <i>Ing. Hidrometeorologista Edgar F. Ramírez D.</i> .....	298
COMPARACION Y ANALISIS ARMONICO (1966-1989) PARA LA TEMPERATURA, RADIACION Y NUMERO DE WOLF EN PUNTA PIEDRAS, ISLA DE MARGARITA <i>Mauricio Campo del Caño</i> .....	305
ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO POR EFECTO INVERNADERO APLICADOS A VENEZUELA <i>Andressen R., Robock A., Acevedo M. y Maytin C.</i> .....	311
ANALISIS DE LOS INDICES ISOIN, SHOWALTER Y "K" PARA LA PREDICION DE LLUVIAS Y TORMENTAS EN EL AREA DE MARACAY <i>Cuevas Luis Rubén y Espinoza Pablo</i> .....	322
NUEVAS TECNICAS DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION HIDROCLIMATICA <i>Javier E. Carvallo</i> .....	331
USO DE UN MODELO HIDRAULICO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LA RELACION NIVEL-GASTO. MICROCUENCA LA VIRGEN. <i>Yajaira Ovalles de Cabeza.</i> .....	337
EL CAMBIO CLIMATICO: CAUSAS E IMPLICACIONES <i>Ana Cristina González, Martha Perdomo de Mata</i> .....	346
MODELOS PARA CALCULO DE SOLIDOS SUSPENDIDOS, ESTUDIO DE LA CUENCA PILOTO DEL RIO YURUANI. <i>Ing. José Antonio Rangel, Ing. Marcelo González (Asesor)</i> .....	352
Conferencias .....	365



ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA, AGUA Y TIERRA

IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y  
CLIMATOLOGIA

ESTUDIOS DE APLICACION E INTERPRETACION

DIAGNOSTICO DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL  
DEL ESTADO SUCRE. CRITERIOS PARA SU MEJOR  
APROVECHAMIENTO.

Autores:

Prof. Rubén Aparicio  
Inst. Oceanográfico  
de Venezuela -UDO  
Cumaná - Edo. Sucre

Ing. Dominga V. Bottini  
Ministerio del Ambiente  
Cumaná - Edo. Sucre

Ing. Maritza Medina  
Ministerio del Ambiente  
Cumaná - Edo. Sucre

EXPOSITOR:

Ing. Dominga V. Bottini  
Ministerio del Ambiente  
Cumaná - Edo. Sucre



mico regional emerge como una de las principales características de la red de monitoreo ambiental en el Estado Sucre. Otras características de importancia son las siguientes:

- a) Desde el punto de vista de la recaudación de la información, la red es notablemente MULTI-INSTITUCIONAL Y MULTI\_DISCIPLINARIA.  
La Tabla I presenta las principales instituciones que recaban información ambiental en los diversos escenarios de interés, mientras que la Tabla II revela cuan exhaustivo es el monitoreo en términos de diferentes parámetros, por cada escenario.
- b) En cuanto al procesamiento de información, este aspecto sólo es desarrollado de acuerdo a los intereses específicos de cada institución y particularmente el almacenamiento de la información, de una manera automatizada, es realizada fuera del Estado.
- c) La interacción entre las instituciones descansa mayoritariamente en contactos forjados por individualidades.

Puede concluirse entonces, en que existe un escaso aprovechamiento de un enorme esfuerzo multi-institucional.

Corregir el déficit de monitoreo en la región peninsular del Estado Sucre, incorporando nuevas estaciones de registros, parece estar fuera del alcance de cualquiera de las instituciones que aparecen en la Tabla I. En verdad, una dificultad común para cada una de las instituciones comprometidas en mayor o menor grado, con la recaudación de información ambiental en la región es cada vez más creciente insuficiencia de recursos de toda índole (humanos y logísticos). Esto restringe considerablemente quizás el más sencillo de los factores que podrían favorecer de inmediato la extensión de la red estatal de monitoreo, como lo es la adquisición de nuevos y actualizados sensores y con ello, la activación de nuevas estaciones de registro.

### 3.- CRITERIO TECNICO PARA EL MEJOR APROVECHAMIENTO DE LA RED PLUVIOMETRICA.

En función de tan crítica dificultad, se presenta a continuación un criterio técnico de fácil manejo y bastante confiabilidad para ser usado por las instituciones ya referidas, en forma tal que permita modificar la red de monitoreo ambiental a través de una reubicación de los sensores ya existentes, ampliándose con ello la eficiencia en el uso de los recursos disponibles. El criterio técnico ya referido, consiste simplemente en comparar las curvas de anomalías acumuladas de un parámetro climatológico de interés, durante períodos similares de registro en diferentes sitios de recaudación no muy apartados entre sí.

Este criterio además, arroja como beneficio el estimado del comportamiento a largo plazo de aquel parámetro bajo la óptica del Cambio Global permitiendo detectar variabilidad temporales en el orden de décadas.

A manera de ejemplo, presentaremos a continuación la aplicación al parámetro precipitación lluviosa, especialmente seleccionado para este análisis, la información pluviométrica recaudada por la Estación Meteorológica FAV-UDO en la localidad de Cumaná y aquella proveniente de las Estaciones Pluviométricas operadas por el M.A.R.N.R. en las localidades de Canca-mure, Salsipuedes y Salinas de Araya.

La Tabla II presenta la ubicación geográfica de estas estaciones y la longitud temporal de sus registros.

#### 3.1 METODOLOGIA

La metodología seguida consistió en analizar la serie de tiempo de los valores acumulados de precipitación lluviosa por cada mes del período de registro en cada una de las estaciones bajo estudio, inicialmente eliminando la señal estacional a través de la generación de las anomalías respectivas.

Debido a la ausencia de tendencias lineales a largo plazo en los registros pluviométricos de la región costera de Venezuela tal como fue reportado por Aparicio (1989), no se practicó la elimina -

ción de tendencias ( DETRENDING) lineales en cada serie de tiempo ni se procedió a la normalización o standarización de las mismas.

Las anomalías fueron calculadas como desviaciones mensuales del valor particular sustrayendo a este el promedio del registro, con siguiéndose así extraer el ciclo anual a la serie de tiempo original.

La generación de las curvas de anomalías acumuladas se consi - gue simplemente sumando aritmeticamente las sucesivas anomalías y re - presentandolas como una nueva serie de tiempo con la pérdida de 1 gra - do de libertad.

### 3.2 DISCUSION

La figura 2 presenta las curvas de anomalías acumuladas para cada una de las estaciones incluidas en el estudio.

La curva de anomalías acumuladas para la Estación de Cuma - ná (FAV-UDO) se distingue por ocupar el area negativa durante todo el periodo de registro, mostrando una tendencia a apartarse gradualmente del valor reutral desde finales de 1971 hasta finales de 1984. Los últimos cinco años de la serie son caracterizados por presentarse un gradual y sostenido incremento desde el máximo valor negativo conse - guido a finales de 1984 hasta practicamente alcanzarse el valor neu - tral a finales de 1989.

Es el caso de CANCAMURE, la curva ocupa el rango positivo durante el lapso 1969-1984, notandose un incremento gradual desde 1969 hasta mediados de 1976 y luego un progresivo decaimiento hasta media - dos de 1984 cuando se alcanza el valor neutral. Valores negativos de anomalías acumuladas entonces se extienden durante el período 1985 - 1988, evidenciandose una brusca caída en aquellos valores durante 1985 para luego crecer sostenidamente hasta alcanzar el valor neutral a me - diados de 1988.

Una apreciada similitud se observa entre las curvas de anomalías acumuladas de CANCAMURE Y SALSIPUEDES.

En este último caso, el lapso caracterizado por valores positivos de la curva se extiende desde 1968 hasta finales de 1982. El descenso marcado de la curva, denotando valores negativos durante el período 83-85, antecede a un sostenido crecimiento hacia el valor neutral, el cual se alcanza a mediados de 1988, de una manera notablemente parecida al caso de CANCAMURE.

La marcada semejanza entre las curvas de anomalías acumuladas para las estaciones de SALSIPUEDES y CANCAMURE, y a la vez, la notable diferencia de ellas con la correspondiente curva de anomalías acumuladas para CUMANA, durante el período común de registro 1968-1989, permite asegurar la existencia de regímenes locales de lluvia bastante diferentes en aquellas localidades. En efecto, el microclima aparentemente común a las estaciones de CANCAMURE y SALSIPUEDES, en las que se detectan precipitaciones lluviosas de tipo orográfico, se muestra diferente a aquel característico de la zona más costera del Estado Sucre en su sector occidental, el cual para este caso podría estar tipificado por los registros que presentan CUMANA y ARAYA.

Tales diferencias pueden ser fácilmente visualizadas en la figura 3, la cual muestra, en conjunto los ciclos estacionales de las 4 estaciones bajo análisis.

Se puede notar la gran semejanza entre los ciclos estacionales para las localidades de CUMANA y ARAYA caracterizándose aquellos por responder a un régimen bimodal, siendo agosto el mes más lluvioso y un lapso desde diciembre hasta mayo en el que las precipitaciones se presentan por debajo del valor 30 mm. y una media en el período de registro ocupando el rango 78 a 788 mm.

A su vez, las localidades de CANCAMURE y SALSIPUEDES presentan también notable semejanza entre sí, exhibiendo un régimen unimodal

caracterizado por débiles precipitaciones durante el lapso diciembre mayo, con un máximo de lluvia durante el mes de agosto y precipitación media en el período de registro oscilando entre los valores 189 y 2140 mm.

### 3.3 RESULTADOS

Como resultado del análisis anterior se estimaría que la red de pluviómetros instalada por el MARNR en la zona sur-oeste del Estado Sucre, pueda tolerar una modificación en sentido de reducir el número de sensores actualmente operando en esa zona.

La gran similitud entre los registros de CANCAMURE y SALSIPUEDES (localidades separadas por 15 kms), tal como lo evidencia el análisis aquí aplicado, novedoso en el sentido en que examina el comportamiento a largo plazo de la serie de datos obtenidos, permite e - nunciar que conservando uno de los dos sensores operativos en el área no se afecta apreciablemente la medida local del régimen de precipitaciones lluviosas.

En este sentido, resulta importante advertir la tendencia común hacia valores negativos durante el lapso 1983-1988, período en el cual se evidenció un aparente ciclo, detectada en las curvas de anomalías acumuladas de aquellas dos localidades. Obviamente, la presencia de ese rango en el comportamiento de la serie de tiempo de anomalías acumuladas, debería ser objeto de crucial atención a la hora de examinar registros similares en otras estaciones ubicadas en el área.

Establecer la causa de este rasgo ya establecido escapa a los objetivos planteados en este modesto trabajo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto a los aspectos generales planteados en la primera parte de este trabajo, los autores consideran que es prioritario:

- a) Implementarse un sistema estatal de información, el cual debería ser responsabilidad de una dependencia oficial a nivel estatal y el cual debería nutrirse de todos los aportes posibles por las diversas instituciones involucradas en la temática ambiental.
- b) Fortalecer y estimular la creación de Centros de Datos a nivel local, por cada escenario de interés, visualizándolos como fuentes de suministro de información al Sistema Estatal mencionado en el párrafo anterior.
- c) Establecer un definido perfil de necesidades por parte de los usuarios o beneficiarios de tal sistema.
- d) Presentar ante el Ejecutivo del Estado Sucre las necesidades financieras para su implementación y operación.

Considerando lo relativo a la metodología aplicada con la finalidad de dotar a los organismos oficiales de criterios técnicos que permitan un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, se concluye en que la opción de utilizar la curva de anomalías acumuladas para estaciones no muy apartadas entre sí y durante un periodo de registro similar, resulta confiable y operativamente fácil de aplicar. Se recomienda continuar el estudio y expandirlo a otras estaciones de monitoreo en el Estado, utilizando, además, otros parámetros climáticos de interés.

TABLA I: INSTITUCIONES QUE MONITOREAN LOS DIFERENTES ESCENARIOS

INSTITUCION	ATMOSFERA	M A R	SUB-SUELO	RECURSOS HIDRICOS
MINISTERIO DEL AMBIENTE	X	X	X	X
FUERZAS AEREAS DE VENEZUELA	X			
UNIVERSIDAD DE ORIENTE	X	X	X	
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y CRIA		X		
ARMADA DE VENEZUELA		X		
INTEVEP - FUNVISIS			X	

TABLA II: PARAMETROS MONITOREADOS EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS

ESCENARIOS	P A R A M E T R O S
ATMOSFERA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VIENTOS (MAGNITUD Y DIRECCION)</li> <li>- TEMPERATURA</li> <li>- PRESION ATMOSFERICA</li> <li>- PRECIPITACION</li> <li>- RADIACION</li> <li>- NUBOSIDAD</li> <li>- EVAPORACION</li> </ul>
M A R	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NIVEL DEL MAR</li> <li>- SALINIDAD SUPERFICIAL</li> <li>- CALIDAD DEL AGUA</li> <li>- PARAMETROS HIDROGRAFICOS (SALINIDAD, TEMPERATURA, GASES DISUELTOS Y NUTRIENTES)</li> <li>- RECURSOS VIVOS</li> </ul>
SUB-SUELO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MICROBISMICIDAD</li> <li>- CALIDAD DEL SUELO</li> </ul>
RECURSOS HIDRICOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NIVEL FREATICO</li> <li>- PARAMETROS HIDROMETRICOS</li> <li>- CALIDAD DEL AGUA</li> </ul>

TABLA III: ESTACIONES UTILIZADAS EN EL ANALISIS DE LA PRECIPITACION LLUVIOSA

LOCALIDAD	ALTITUD (msnm)	LATITUD	LONGITUD	PERIODO DE REGISTRO	INSTITUCION
CUMANA	3	10° 27'	64° 10'	0767-	FAV - UDO
SALINAS DE ARAYA	8	10° 35'	64° 15'	0348-0280	MARNR
CANCAMURE	93	10° 19'	64° 12'	0768-	MARNR
SALSIPUEDES	120	10° 20'	64° 02'	0468-	MARNR

TABLA IV : RESUMEN DE LOS PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ESTOS CICLOS ESTACIONALES

LOCALIDAD	TIPO DE REGIMEN	AMPLITUD ANUAL RANGO DE OSCILACION (mm)/AÑO	MES DE OCURRENCIA MAX. PREC.	MES DE OCURRENCIA MIN. PREC.	VALOR MEDIO DEL PERIODO DE REGISTRO (mm)
CUMANA	BIMODAL	206 A < 788 (72) (88)	AGOSTO Y NOVIEMBRE	MARZO	398
SALINAS DE ARAYA	BIMODAL	78 A < 574 (57) (55)	AGOSTO Y NOVIEMBRE	MARZO	243
CANCAMURE	UNIMODAL	567 A < 2140 (80) (88)	AGOSTO	ENERO	996
SALSIPUEDES	UNIMODAL	415 A < 2084 (82) (88)	AGOSTO	ENERO	1348

Fig. 1 RED DE MONITOREO AMBIENTAL DEL ESTADO SUCRE

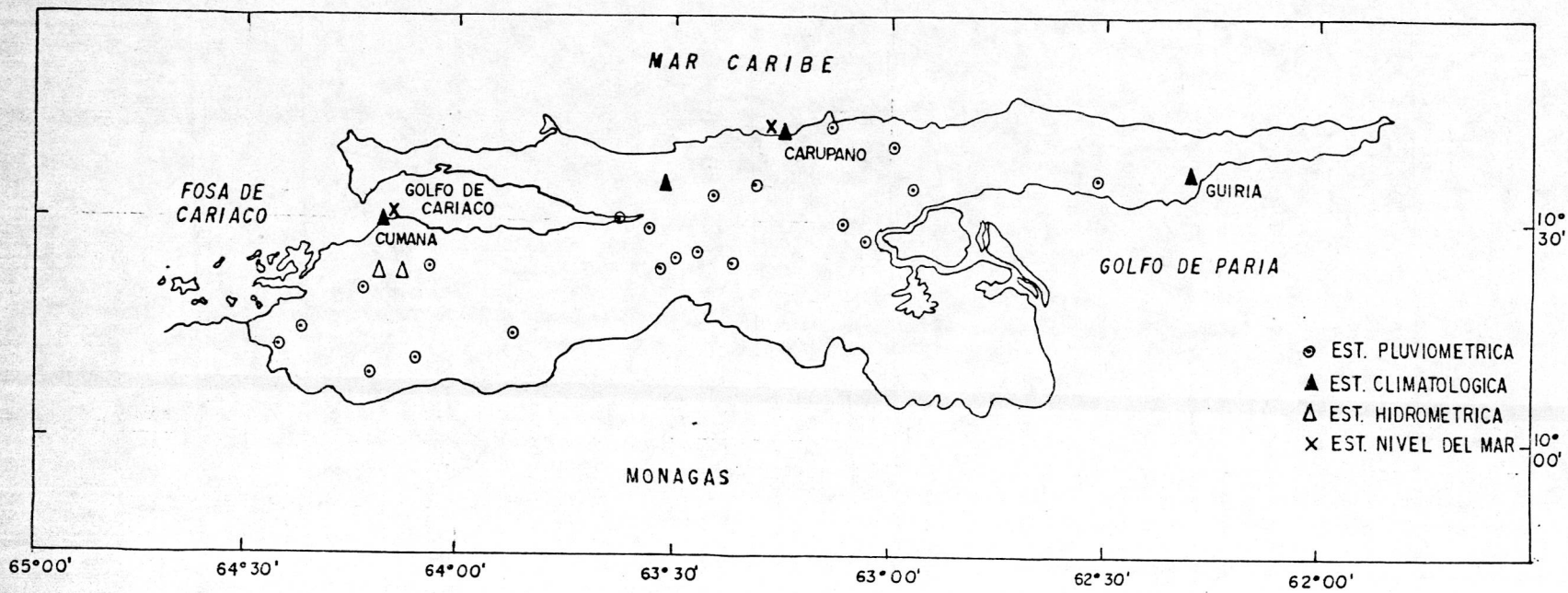


FIG. 2. ANOMALIAS ACUMULADAS DE PRECIPITACION LLUVIOSA PARA CUMANA Y LOCALIDADES ADYACENTES . PERIODO 1969 - 1989

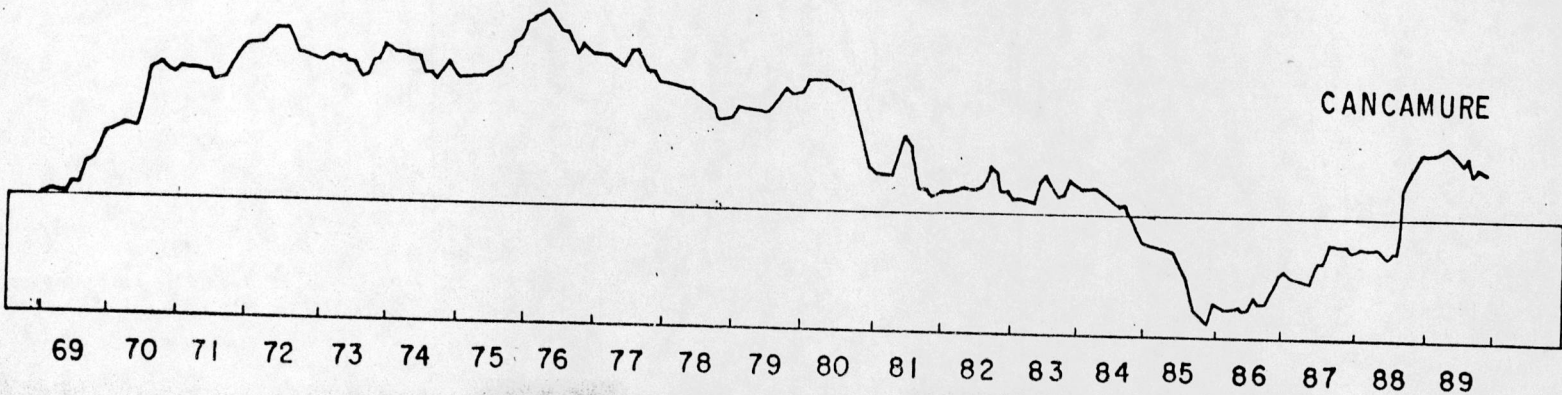
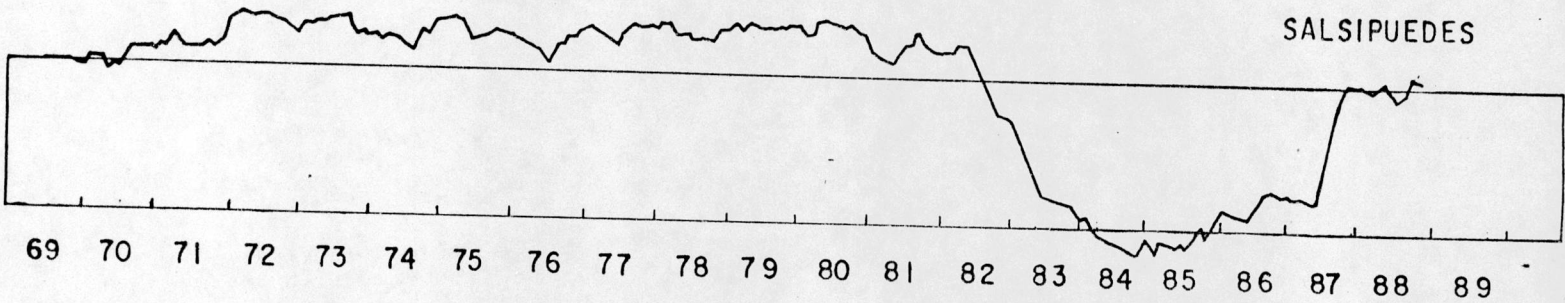
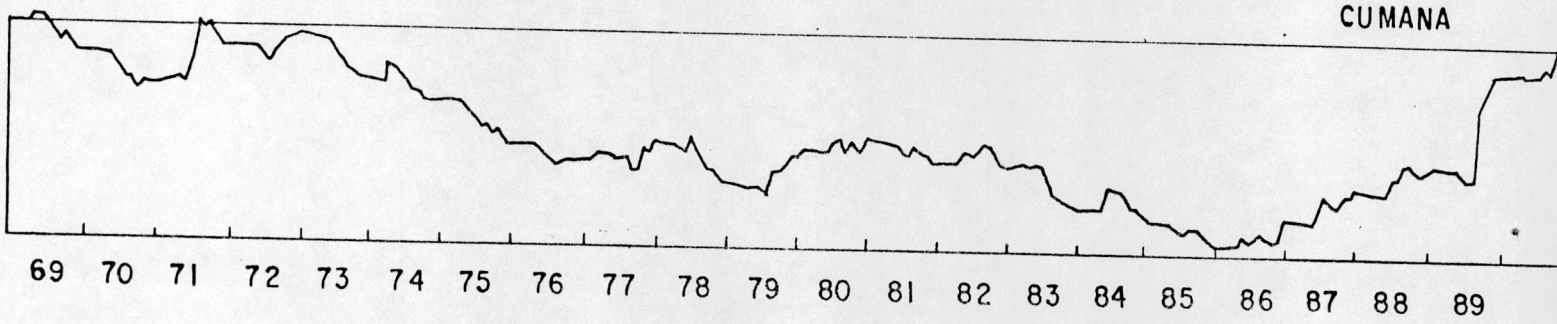
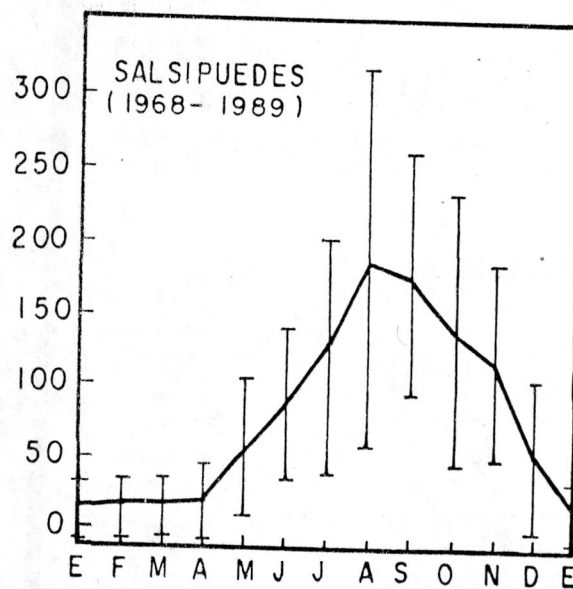
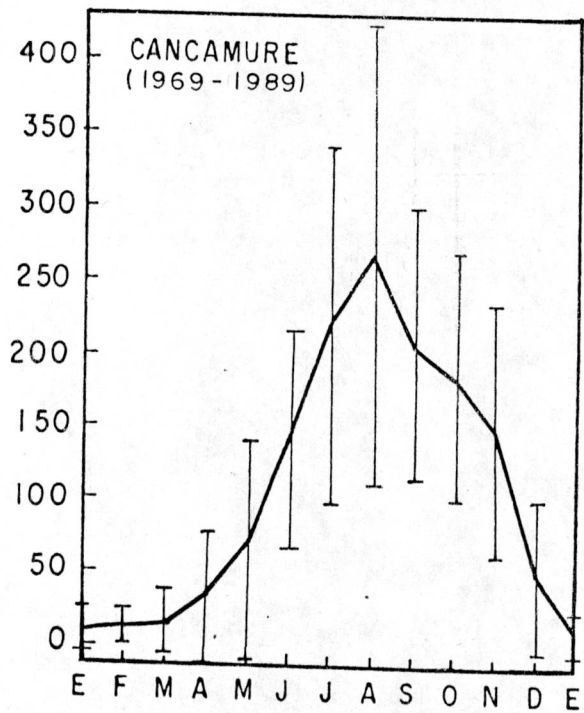
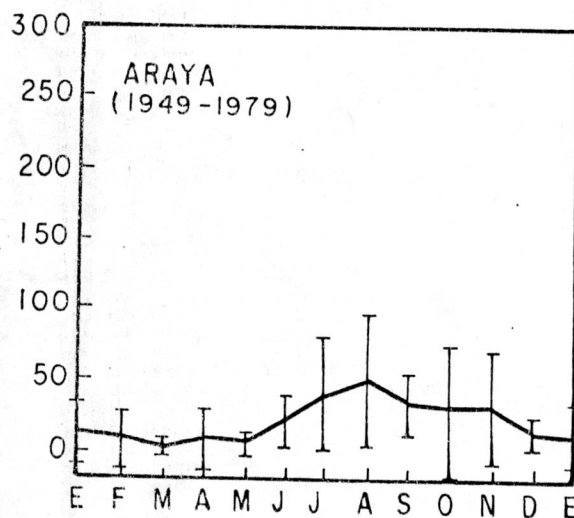
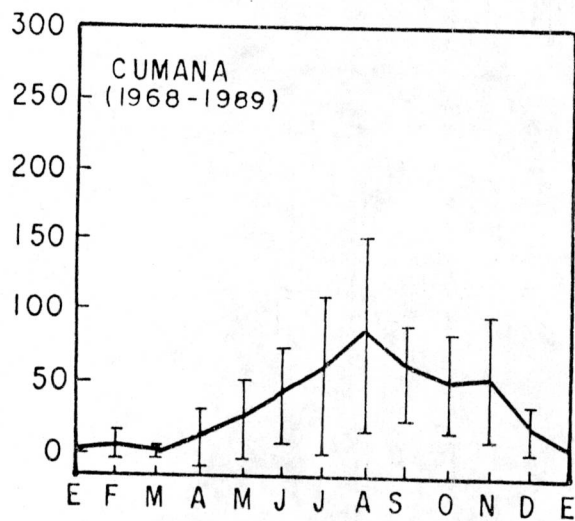


FIG. 3. CICLO ESTACIONAL DE LA PRECIPITACION LLUVIOSA (mm) EN CUMANA Y LOCALIDADES ADYACENTES



## CONSECUENCIAS HIDROLOGICAS DEL EFECTO INVERNADERO EN UNA CUENCA PER-HUMEDA TROPICAL (RIO CATATUMBO)

Andressen, R. [1] y B. R. Rincón [2]

[1] Centro de Investigaciones Ecológicas de los Andes Tropicales - Universidad de Los Andes y Centro de Estudios Avanzados del Clima Tropical, Mérida. [2] Facultad de Ingeniería - Universidad del Zulia, Maracaibo.

### RESUMEN

Una de las consecuencias más importantes del Calentamiento Global y los Cambios Climáticos, es la relacionada con los ciclos hidrológicos regionales y los cambios que podrían ocurrir en la cantidad y calidad de los recursos hídricos y sus efectos sobre las obras hidráulicas. La evaluación preliminar de estos aspectos se ha venido llevando a cabo en otros países, desde hace varios años. El objetivo fundamental del presente trabajo es evaluar los efectos de los cambios climáticos, inducidos por una concentración de  $2 \times \text{CO}_2$ , sobre la escurrimiento y evaporación en una cuenca per-húmeda tropical: Río Catatumbo, importante afluente del Lago de Maracaibo. Para evaluar los procesos del sistema hidrológico regional, se utilizó un modelo hidrológico de simulación paramétrica mensual (Duque y Barrios, 1988) y los escenarios climáticos desarrollados en el Taller Internacional de Clima y Cambios Climáticos efectuado en Mérida en 1990 (Robock, A. et al., 1991, 1992).

Los hidrogramas simulados, bajo los diferentes escenarios climáticos de  $2 \times \text{CO}_2$ , exhiben los mismos patrones secuenciales de máximos y mínimos, que el hidrograma actual. Para los escenarios de sensibilidad alta y media, se observa un incremento en el gasto mensual, mientras que para el escenario de baja sensibilidad hay una leve disminución. En cuanto a los cambios en la evapotranspiración, hay una disminución de alrededor del 10%, en el exceso hídrico, para el escenario de baja sensibilidad, y un aumento de hasta el 50% de exceso hídrico para el escenario de alta sensibilidad.

### 1.- INTRODUCCION

Una de las consecuencias más importantes del Calentamiento Global y de los Cambios Climáticos, sería aquella relacionada con los ciclos hidrológicos regionales y los cambios que podrían ocurrir en la cantidad y calidad de los recursos hídricos (Gleick, 1987, 1989) y en las obras hidráulicas construídas y por construirse.

Los posibles impactos regionales de los Cambios Climáticos sobre el escurrimiento superficial y el caudal, deben evaluarse por medio de modelos hidrológicos adecuados y sobre la base de escenarios climáticos plausibles de cambios en la precipitación y la temperatura, a objeto de precisar la

sensibilidad de las características hidrológicas de una cuenca o región.

También se requiere evaluar los posibles efectos, directos e indirectos, de los cambios pluviométricos y termométricos - y de otras variables- sobre la evaporación y evapotranspiración, a objeto de inferir las consecuencias posibles sobre la disponibilidad de los recursos hídricos y la producción agrícola.

El presente trabajo tiene como propósito evaluar la sensibilidad de una cuenca hidrográfica per-húmeda (Río Catatumbo), a cambios climáticos inducidos por una concentración de  $2\times\text{CO}_2$ .

## 2.- OBJETIVOS

en la respuesta hidrológica de una cuenca per-húmeda tropical, como la del Río Catatumbo, a cambios climáticos como los inducidos por el Efecto Invernadero.

ii) Definir en qué períodos, de acuerdo al régimen pluviométrico los efectos son más acentuados.

## 3.- METODOLOGIA

### Modelo Hidrológico

La escogencia del modelo, depende del sistema hidrológico a ser analizado, la escala temporal y el problema a estudiar, así como de los requerimientos y disponibilidad de la información básica. Para el presente trabajo se empleó un modelo de simulación paramétrica mensual, denominado "Simulacy", desarrollado por Duque y Barrios (1988), y cuyos detalles aparecen en la publicación respectiva.

### Modelo de Balance Hídrico

A objeto de inferir algunas características acerca de la sensibilidad de la evapotranspiración y balance hídrico, del área de estudio, con respecto a cambios en la temperatura y precipitación, se utilizó el modelo de balance hídrico de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948; Thornthwaite and Mather, 1957), debido a su flexibilidad y a su simplicidad (sólo requiere de datos de precipitación y temperatura). Este enfoque es particularmente recomendable en estudios para evaluar los efectos hidrológicos regionales de los cambios climáticos. (Gleick, 1987). **Esquema Metodológico**

En la Fig. 1 se presenta una técnica propuesta para el estudio de impactos de cambios climáticos (por  $2\times\text{CO}_2$ ) sobre las características hidrológicas de una cuenca o región. Por supuesto, para el presente trabajo se dispuso de los escenarios climáticos generados en el Taller Internacional de Variabilidad y Cambios Climáticos en Venezuela y El Caribe (Robock, et al., 1992, Andressen, 1992). (Tabla 1).

## 4.- AREA DE ESTUDIO

El Río Catatumbo nace en la República de Colombia, en los Andes orientales. (Fig. 2). Su cuenca tiene un área de 25.565 Km<sup>2</sup>, de los cuales aproximadamente, 16.244 está en territorio colombiano (63,5 %) y 9.321 en territorio venezolano (36,5 %). La longitud total del río es de 209 Km, hasta su desembocadura en el Lago de Maracaibo. El gasto medio del río

es de 477 m<sup>3</sup>/s (Puente Ecuador), el gasto máximo promedio alcanza 1.258 m<sup>3</sup>/s y el mínimo es de 163 m<sup>3</sup>/s. El volumen escurrido es de 15.107.534 m<sup>3</sup>, y su rendimiento unitario es de 44,9 lts/s./Km<sup>2</sup>, el más alto entre todos los afluentes del Lago de Maracaibo. (Rincón, 1989).

## 5.- ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

### Régimen de los Caudales

#### Ocurrencia y Traslación de Picos (Máximos y Mínimos)

La Fig. 3 (Caudales medios del Río Catatumbo-Período 1973-1983) muestra un comportamiento bimodal, con un pico principal en noviembre (615 m<sup>3</sup>/s) y un pico secundario en mayo (585 m<sup>3</sup>/s). El caudal de estiaje ocurre entre febrero y marzo (200 a 300 m<sup>3</sup>/s), lo que indica que existe una gran contribución subterránea al flujo base del río. El módulo o caudal medio anual es de 454 m<sup>3</sup>/s.

Los caudales simulados para los diferentes escenarios climáticos (2 x CO<sub>2</sub>), se presentan en la Tabla 2 y Figura 4. Observamos que los hidrogramas resultantes presentan el mismo patrón secuencial, en relación a picos (máximos y mínimos) que el hidrograma observado (1 x CO<sub>2</sub>), indicando esto que no se producen defasamientos temporales.

#### Variaciones en los Caudales

La comparación entre caudales simulados y caudales actuales, se analizó a través de un Índice de Respuesta Hidrológica, definido para cada nivel de sensibilidad como:

$$IRH = \frac{\text{Caudal (2xCO}_2\text{)} - \text{Caudal (1xCO}_2\text{)}}{\text{Caudal (1xCO}_2\text{)}} \times 100$$

De acuerdo a los valores presentados en las Tablas 2 y 3, y Fig. 4, los incrementos de caudal podrían ser de hasta de 60% para el nivel de alta sensibilidad, 30% para el de sensibilidad media y una leve disminución de 2% para el de baja sensibilidad. De acuerdo a los escenarios climáticos utilizados, en un escenario de baja sensibilidad, se proponen cambios en la temperatura sin cambios en la precipitación, lo que implica un cierto aumento en la evaporación, que incide - de una manera leve- en el caudal.

#### Variaciones en la Evapotranspiración y Balance Hídrico

Los cambios en la evapotranspiración potencial y el balance hídrico se evaluaron para dos estaciones climatológicas (2044: Bogsi y 2013: La Frontalia) y parte de los resultados se presentan en la figura 5.

El patrón del balance hídrico actual (1xCO<sub>2</sub>) muestra que hay un exceso de agua, durante casi todo el año, que tendería a disminuir, en cerca de un 10%, en presencia de un escenario de cambio de baja sensibilidad, y a aumentar hasta un 50%, en un escenario de alta sensibilidad.

## 6.- CONCLUSIONES

Los modelos hidrológicos de simulación paramétrica, como el "Simulacy", presentan coherencia en la respuesta hidrológica

superficial, para estudiar los impactos hidrológicos regionales que podrían producir los cambios climáticos. Sin embargo, en el caso particular de este modelo, ya que su calibración se basa exclusivamente en el flujo superficial, el flujo subterráneo, la humedad del suelo, la infiltración y la percolación no son, adecuadamente, estimados.

Las simulaciones resultantes para los distintos escenarios climáticos, no muestran desfaseamiento en los picos del caudal del Río Catatumbo, pero sí importantes incrementos en la respuesta hidrológica, para los niveles de sensibilidad media y alta.

Con respecto a la evapotranspiración y balance hídrico, los modelos de balance de agua como el de Thornthwaite o similares, constituyen la mejor herramienta, en este momento, para la evaluación preliminar de las respuestas regionales. En el caso del Río Catatumbo, cambios climáticos como los sugeridos por los escenarios señalados (Robock, *et al.*, 1992), tenderían a disminuir el exceso de agua, en el caso del nivel de sensibilidad baja y a incrementarlo, en el caso del nivel de sensibilidad alta. Esta última posibilidad acentuaría los problemas de drenaje en la cuenca baja del río, que corresponde a la parte de la planicie aluvial del Lago de Maracaibo.

#### BIBLIOGRAFIA

- Duque, R. y A. Barrios, 1988. *Modelo de Simulación Hidrológica a Escala Mensual*. Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT). Serie Hidrología H-23. 130 pp.
- Robock, A., Turco, R.P., Harwell, M.A., Ackerman, T.F., Andressen, R., Chang, H. y M.V.K. Sivakumar, 1991. *Use of General Circulation Model Output in the Creation of Climate Change Scenarios for Impact Analysis*. (Submitted to *Climatic Change*).
- Robock, A., Andressen, R., Acevedo, M. y R. Jaimez, 1992. *General Circulation Model-Based Scenarios of Future Climate for Venezuela*. (Submitted to *Climatic Change*).
- Gleick, P.H., 1987. Regional Hydrologic Consequences of Increases in Atmospheric CO<sub>2</sub> and Other Trace Gases. *Climatic Change*, 10, 2: 137 - 160.
- Gleick, P.H., 1989. Climate Change, Hydrology and Water Resources. *Review of Geophysics*, 27, 3: 329 - 344.
- Thornthwaite, C.W., 1949. An Approach Toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38, 55 - 94.
- Thornthwaite, C.W. and J.R. Mather, 1957. The Water Balance. Drexel Institute of Technology, *Publications in Climatology*, Laboratory of Climatology, Vol. VIII, No. 1, 104 pp.
- Andressen, R. ed., 1992. *Taller Internacional sobre Variabilidad y Cambios Climáticos en Venezuela y El Caribe. Memorias*. Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias (En prensa).
- Rincón, B.R., 1989. *Aprovechamiento de Los Recursos Hidráulicos en la Cuenca del Río Catatumbo y sus Efectos en el Régimen Hidrológico*. Mérida: Centro Interamericano para el Desarrollo Integral de Aguas y Tierras / Universidad de Los Andes. 270 pp.

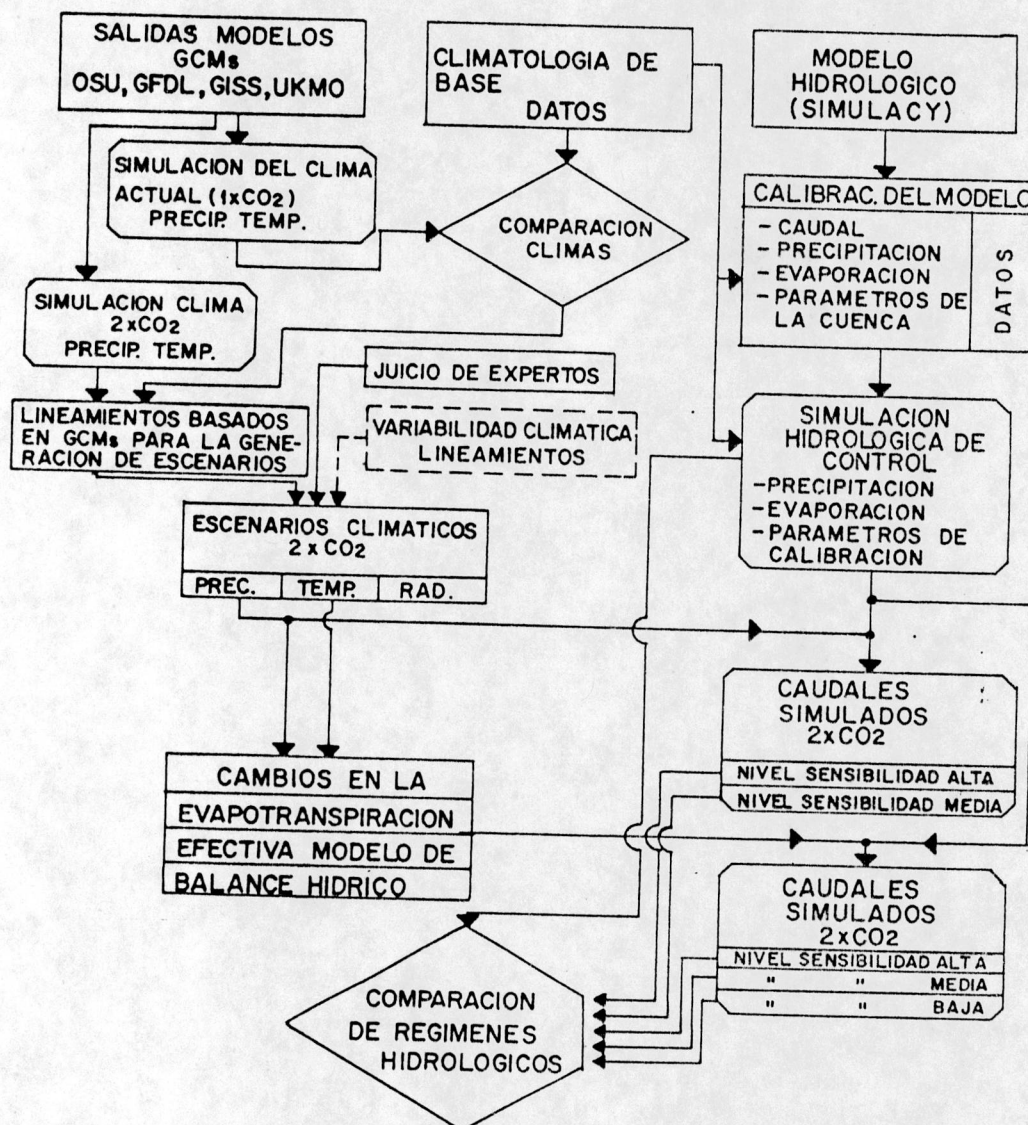


FIG. 1.- ESQUEMA TEORICO PARA EL ESTUDIO DE LOS IMPACTOS DE LOS CAMBIOS CLIMATICOS SOBRE LAS CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE UNA CUENCA.

TABLA 1. ESCENARIOS DE CAMBIOS CLIMATICOS PARA VENEZUELA EFECTO INVERNADERO ( 2 x CO<sub>2</sub> )

NIVEL DE SENSIBILIDAD	PERIODO	CAMBIO EN TEMP. °C			CAMBIO EN LA MEDIA PRECIPITACION %
		MAX.	MIN.		
ALTA	Seco	+4,5	+5,5	+5,0	0
	Húmedo	+2,5	+4,5	+3,5	+40
MEDIA	Seco	+3,0	+4,0	+3,5	0
	Húmedo	+2,0	+3,0	+2,5	+20
BAJA	Seco	+2,0	+2,0	+2,0	0
	Húmedo	+2,0	+2,0	+2,0	0

Mes Seco= Mes con precipitación inferior a 50 mm.

TABLA 2.

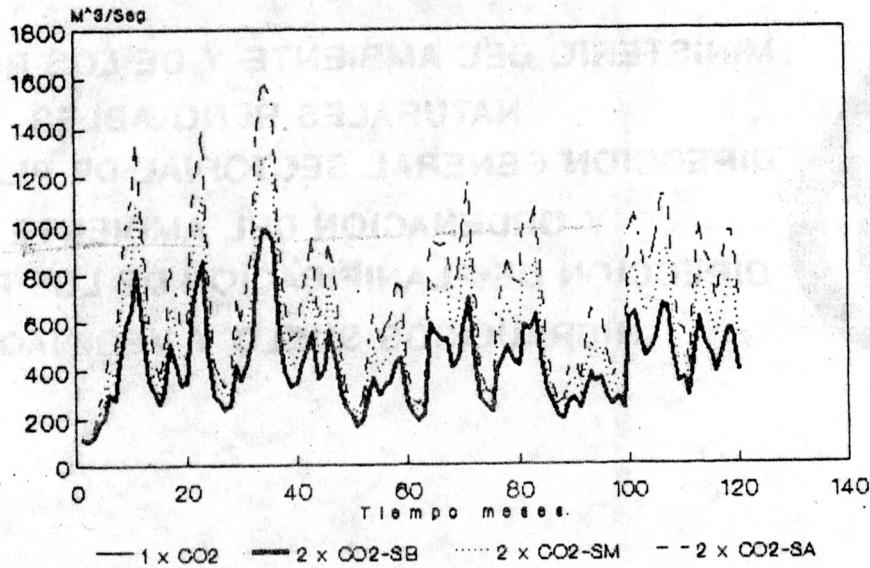
RIO CATATUMBO

Caudales simulados para los diferentes escenarios.

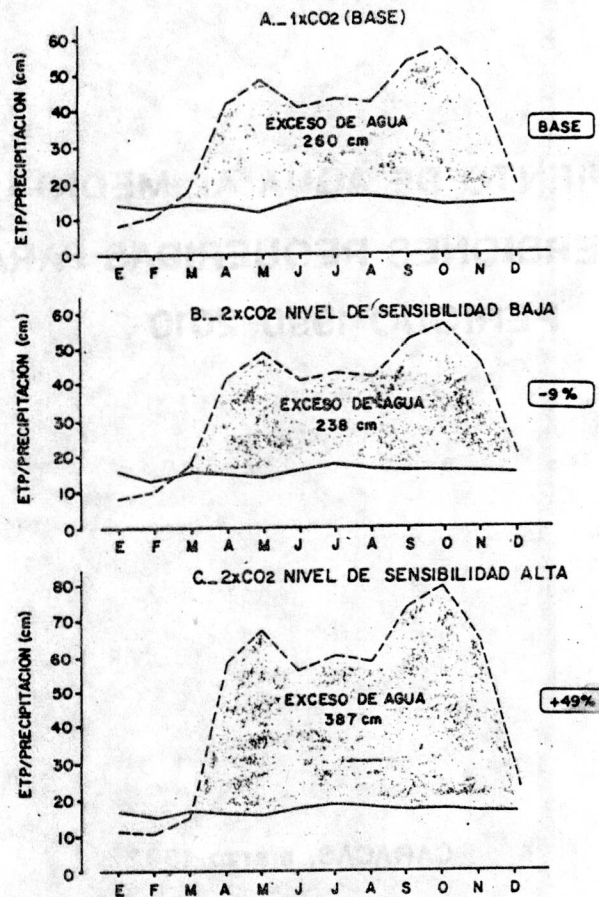
n	1 x CO2	2 x CO2 SB	2 x CO2 SM	2 x CO2 SA										
1	114.50	114.50	119.36	124.42	49	246.21	242.56	281.16	316.94	104	496.14	487.33	675.33	866.55
2	107.61	107.61	113.20	119.12	50	219.14	215.24	249.11	274.98	105	539.45	530.14	732.98	927.93
3	116.87	114.17	126.43	139.01	51	173.48	169.06	201.57	229.89	106	675.82	663.94	893.39	1122.98
4	184.10	178.21	217.42	261.21	52	197.91	192.72	240.04	285.83	107	670.24	660.25	891.75	1122.59
5	213.29	208.91	265.09	329.85	53	314.75	308.30	405.93	512.44	108	473.17	465.16	642.61	827.41
6	309.90	303.27	398.71	510.99	54	373.79	366.72	494.43	635.37	109	352.39	347.18	447.66	580.73
7	284.85	279.27	367.76	476.08	55	300.35	294.17	390.13	507.21	110	364.15	359.09	446.50	563.26
8	448.76	440.73	594.14	758.36	56	343.62	337.04	448.30	585.06	111	291.68	287.53	347.32	420.07
9	596.82	587.78	788.22	994.20	57	356.68	349.72	463.71	607.12	112	497.89	491.29	638.90	795.01
10	671.27	661.72	882.91	1106.16	58	444.86	437.05	591.20	763.16	113	623.93	616.02	807.09	1001.58
11	830.84	821.45	1080.19	1339.19	59	459.35	451.23	616.65	797.52	114	516.07	507.54	690.16	876.47
12	588.96	579.86	787.67	994.70	60	270.38	265.53	328.02	405.63	115	472.93	465.17	637.34	816.59
13	361.11	355.50	473.54	621.44	61	215.08	210.82	245.94	275.44	116	394.96	388.36	519.95	680.00
14	321.74	317.62	387.43	481.20	62	197.71	192.58	229.08	260.04	117	485.01	477.09	644.11	831.92
15	258.28	254.79	302.24	355.73	63	216.08	210.56	265.92	320.79	118	574.97	566.01	761.63	967.98
16	321.89	317.42	396.09	484.45	64	604.60	596.97	773.06	947.16	119	568.97	559.36	762.58	970.47
17	518.00	511.18	667.25	826.30	65	568.27	559.41	745.94	930.05	120	399.85	393.10	526.66	689.13
18	426.17	419.24	561.81	719.42	66	558.42	528.54	724.03	916.99					
19	342.36	336.63	440.31	569.01	67	537.72	527.86	726.36	922.42					
20	351.43	345.53	448.96	579.25	68	412.28	404.24	562.13	734.44					
21	678.00	669.47	873.85	1090.36	69	455.33	447.20	616.74	802.52					
22	778.43	769.33	1004.39	1245.01	70	581.04	571.76	774.72	984.53					
23	867.72	858.02	1121.07	1385.73	71	708.61	698.85	933.55	1171.44					
24	488.82	480.36	661.75	847.33	72	428.62	421.40	577.00	750.32					
25	298.36	294.10	359.15	442.69	73	282.56	278.67	329.11	397.04					
26	275.40	271.21	315.11	360.16	74	254.47	250.63	284.08	314.24					
27	243.01	238.62	286.41	334.41	75	223.48	219.26	260.38	300.94					
28	257.42	252.60	310.56	369.81	76	401.29	395.25	512.24	634.36					
29	429.36	422.56	555.54	691.36	77	465.71	457.98	612.90	769.82					
30	363.02	356.43	472.64	606.92	78	503.42	494.72	674.45	855.41					
31	438.27	430.75	582.32	746.66	79	443.16	434.83	600.55	774.56					
32	544.96	536.02	724.72	919.09	80	433.82	425.82	586.82	762.77					
33	851.33	841.35	1102.85	1366.53	81	598.15	588.22	797.70	1013.23					
34	991.33	981.42	1271.82	1562.25	82	582.70	572.63	780.52	991.09					
35	995.70	985.51	1281.35	1576.10	83	640.99	630.69	853.91	1077.51					
36	947.20	937.76	1219.94	1500.57	84	461.45	453.43	625.33	806.38					
37	549.81	540.75	741.35	940.42	85	317.30	312.66	369.02	491.62					
38	404.80	398.98	528.05	690.02	86	276.18	272.09	314.95	363.57					
39	333.71	329.70	412.07	524.47	87	207.96	204.24	233.70	258.92					
40	354.97	350.62	436.98	548.86	88	206.65	201.62	241.73	280.65					
41	427.74	422.24	546.34	694.44	89	267.09	261.62	332.55	407.88					
42	504.11	497.21	660.15	837.50	90	287.72	281.38	363.01	454.67					
43	566.94	558.55	748.13	943.91	91	237.06	231.60	291.70	358.91					
44	370.89	364.87	480.33	624.95	92	310.86	304.30	396.72	502.01					
45	408.57	402.12	527.54	685.89	93	389.94	382.28	510.48	656.67					
46	569.42	561.47	743.60	939.86	94	354.09	346.88	464.26	607.00					
47	467.40	459.97	621.64	801.01	95	366.65	359.70	478.99	628.52					
48	310.52	306.00	380.55	476.12	96	288.86	283.43	360.88	458.48					
					97	252.89	246.16	305.36	368.41					
					98	289.75	284.40	355.06	429.94					
					99	240.37	235.59	292.49	350.46					
					100	617.69	609.85	791.15	971.30					
					101	647.43	639.17	840.96	1041.15					
					102	568.76	559.24	760.02	958.66					
					103	464.38	456.01	633.13	813.44					



**FIG. 4. CAUDALES RIO CATATUMBO**  
Para Diferentes Escenarios Climáticos



Andriessen & Rindoo - 1991



**FIG. 5. CAMBIOS EN EL BALANCE HIDRICO (LA FRONTALIA-CUENCA DEL RIO CATATUMBO)**  
LOS VALORES DE ETP ESTIMADOS DE ACUERDO A LO ESCENARIOS CLIMATICOS GENERADOS EN EL TALLER DE MERIDA (PAN EARTH/CEACT, ABRIL 1990)



**MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES  
DIRECCION GENERAL SECTORIAL DE PLANIFICACION  
Y ORDENACION DEL AMBIENTE  
DIRECCION DE PLANIFICACION DE LOS RECURSOS  
HIDRAULICOS SUELO Y VEGETACION**

**EL ABASTECIMIENTO DE AGUA AL MEDIO URBANO  
Y LAS INVERSIONES REQUERIDAS PARA EL  
PERIODO 1990-2010**

**CARACAS, marzo 1992**

## .Introducción

En los últimos diez años, el abastecimiento urbano de agua viene presentando graves problemas en la mayoría de los sistemas del país. Este deterioro básicamente se debe a la escasez de recursos financieros dedicados a la operación y el mantenimiento de las obras existentes, además de la crisis que sufre el modelo institucional que ha regido en dicho sector.

El objetivo fundamental de esta ponencia consiste en presentar los resultados de la primera fase de un plan estratégico de inversión para el sector durante el periodo 1990-2010.

El análisis se basa en la estimación de los volúmenes de agua que demandará el sector urbano para el periodo de 1990-2010. A tal efecto, se analizan 28 centros de consumo con población actual mayor de 65.000 habitantes cada uno, para cuatro (4) escenarios diferentes; posteriormente, para todos ellos se estiman la dotación y las demandas de agua y se calculan los costos aproximados de las inversiones necesarias para el mantenimiento y operación, rehabilitación y expansión de los sistemas de agua potable considerados.

Finalmente se comparan las demandas y las inversiones correspondientes a cada escenario.

### 1. Situación Actual.

En los últimos diez años, la calidad del servicio de agua potable se ha ido deteriorando. El abastecimiento de agua es deficiente en algunas áreas de las ciudades y con bastante frecuencia es el causante del descontento popular. La crisis padecida por este sector es el producto de que, a menudo, las soluciones han sido orientadas hacia la implementación de nuevos sistemas de abastecimiento, y no hacia aumentar la eficiencia de los sistemas existentes.

Para el año 1990, el porcentaje de la población servida de agua potable se estima en 80%. La dotación promedio nacional se considera en 350 l/p/d, la cual es 30% más alta que el promedio de la América Latina. La capacidad instalada a nivel de producción, transporte y tratamiento para abastecimiento de agua es de 136 m<sup>3</sup>/s.

Las tarifas por servicio de agua potable han disminuido en términos absolutos, debido a la inflación, y no reflejan los costos del servicio. Durante el periodo 1982-1990, la tarifa promedio nacional ha decrecido aproximadamente al 10% de su valor para 1982. En la mayoría de las ciudades las pérdidas de agua producida y tratada son altas, alcanzando más del 50%.

## 2. Evolución Institucional.

Para el año 1940, Venezuela cuenta con una población básicamente rural (70%), que se transforma en una población urbana fundamentalmente (85%) en 1990. Así, las demandas de agua potable para las ciudades experimentaron un rápido crecimiento.

En 1943 fue creado el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) como un organismo descentralizado, adscrito al Ministerio de Obras Públicas (MOP), cuya función sería suministrar el servicio de agua potable y de cloacas, y la construcción de infraestructura sanitaria a nivel nacional, basado en contratos con las municipalidades.

Gradualmente el INOS tomó el servicio de sistemas de agua potable y sistemas de aguas negras en las ciudades mayores. En 1950 administraba 5 sistemas, que se incrementaron a 50 en 1960 y alcanzaron 350 en 1990; incluyendo numerosos sistemas desarrollados por el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS), a través de un programa rural efectivo, orientado a poblaciones menores de 2.500 habitantes.

Recientemente se decidió reemplazar al INOS por 11 Agencias Regionales de Agua y Saneamiento y una Agencia Central para regular y planificar el servicio. Igualmente se inició un ambicioso programa de inversiones en infraestructura sanitaria, soportado técnica y financieramente por instituciones

## 3. Metodología.

Para analizar la situación actual y las perspectivas del sector fueron seleccionados 28 centros de consumo, los cuales agrupan 40 ciudades con poblaciones mayores de 65.000 habitantes. Se desarrollaron cuatro escenarios futuros para cada centro, basados en diferentes hipótesis de dotación de agua, demandas futuras per cápita, población servida y pérdidas.

La estimación del consumo de agua en Venezuela presenta dificultad debido a la escasez de mediciones formales. Basados en los datos publicados por el INOS se estimó la población servida (cobertura del servicio), las pérdidas (cantidad de agua facturada y la cantidad de agua producida) y se estimó la dotación y la capacidad actual de los sistemas de abastecimiento.

Para las proyecciones de población se revisaron las estadísticas de la OCEI, el censo de 1981 y las proyecciones de COPLANARH, MARNR e INOS. Las proyecciones del INOS se incluyen puesto que representan una estimación preliminar global del Censo Nacional realizado en 1990, e incluyen proyecciones para los años 2000 y 2010. Para algunos centros menores donde el INOS no cuenta con proyecciones, se tomaron las proyecciones realizadas por el MARNR.

## Desarrollo:

De acuerdo a la metodología planteada, se obtuvo información acerca de la situación actual de abastecimiento de agua (ver Cuadro N°1).

Los cuatro escenarios proyectados se describen a continuación:

Escenario A: Se refiere a la proyección realizada en años recientes por el INOS, para los 28 centros poblados considerados, para la cual la demanda total es de 67 m<sup>3</sup>/s en el año 1990, hasta alcanzar 88 y 117 m<sup>3</sup>/s para los años 2000 y 2010, respectivamente.

Escenario B: Plantea mantener los niveles actuales de consumo por persona, sin reducir las pérdidas. También asume un escaso incremento de la cobertura de la red de abastecimiento, en los próximos 20 años. La dotación per cápita permanece entre 400 y 600 l/p/d. La demanda total es de 63 m<sup>3</sup>/s en el año 1990, hasta alcanzar 81 m<sup>3</sup>/s y 104 m<sup>3</sup>/s en los años 2000 y 2010, respectivamente.

Escenario C: Supone la racionalización del consumo, asumiendo tarifas basadas en el costo marginal del servicio y reducción de pérdidas como consecuencia de una política adecuada y de la creación de institutos regionales autónomos con una administración muy eficiente. Para este escenario se asume una cobertura de la red del 100% de la población y reducción de pérdidas al 30%.

Para el año 2000 se asume una dotación de 175 l/p/d, la cual, incluyendo las pérdidas, alcanza 250 l/p/d; para el año el año 2010 la dotación es de 225 l/p/d, la cual, incluyendo las pérdidas alcanza 320 l/p/d. La demanda total es de 35 m<sup>3</sup>/s en el año 1990, hasta alcanzar 44 m<sup>3</sup>/s y 69 m<sup>3</sup>/s para los años 2000 y 2010, respectivamente.

Escenario D: Corresponde a una situación intermedia entre los escenarios B y C. También supone la creación de institutos regionales autónomos capaces de una eficiente administración, la reducción de pérdidas y la implantación de tarifas con un incremento progresivo que reflejaría a largo plazo "verdaderos" costos de operación.

En 1990, la dotación varía entre 450 y 625 l/p/d, incluyendo las pérdidas, que fluctúan entre 40 y 60%. Para el año 2000, se asume que las pérdidas descienden entre 40 y 50% y la demanda total por persona varía entre 300 y 400 lpd. Para el año 2010, las pérdidas pudieran descender hasta 35 y 40%, pero con el incremento de la dotación la demanda se incrementará hasta un valor entre 385 y 417 l/p/d. La demanda total para el año 1990 es de 50 m<sup>3</sup>/s, hasta alcanzar 58 y 80 m<sup>3</sup>/s, para los años 2000 y 2010, respectivamente.

En el cuadro No. 2 se presenta un resumen de las proyecciones de demanda de agua para cada uno de los cuatro escenarios analizados (periodo 1990-2010).

**Cuadro No. 2**  
**Proyección de las demandas de agua (m<sup>3</sup>/s)**

Escenario	Año 1990	Año 2000	Año 2010
Escenario A	61.5	88.1	116,9
Escenario B	63.1	80.9	103,6
Escenario C	35.0	44.3	68,6
Escenario D	50.3	57.8	80,4

### 5. Estimación de Requerimientos Financieros.

Una estimación de los recursos financieros requeridos para satisfacer las demandas de agua según los escenarios presentados, proporciona una idea de la magnitud de los esfuerzos necesarios para obtener el financiamiento a largo plazo de los programas de inversión.

La evaluación de la proyección del consumo de agua de los 28 centros estudiados, indica lo siguiente:

Si se implementa el escenario B, los requerimientos adicionales de capacidad de los acueductos, para cada una de las próximas 2 décadas, será de aproximadamente 20 m<sup>3</sup>/s. Esta capacidad adicional será eventualmente necesaria en los grandes centros urbanos de la parte norte del país, los cuales por lo general son sistemas de abastecimiento complejos. Proyecciones recientes indican que estas inversiones tendrán un costo del orden de Bs. 2.600.000 por l/s, incluyendo el desarrollo de fuentes, aducciones, plantas de tratamiento y red de distribución. Esto implica un financiamiento (excluyendo la rehabilitación) de aproximadamente 52.000 millones de bolívares en los próximos 10 años, ( 5.200 millones de bolívares por año).

Para el escenario B, las demandas del año 2000 están alrededor de los 81 m<sup>3</sup>/s, resultando un costo de operación y mantenimiento de Bs. 49.790 millones (Bs. 4.979 millones por año).

Si el escenario D es implementado, solo se requiere un financiamiento específico para la ampliación de los sistemas de abastecimiento del orden de 2.600 millones de bolívares en el periodo. En este escenario, para el año 2000, las demandas estarán alrededor de los 58 m<sup>3</sup>/s. resultando un costo de operación y mantenimiento de 35.685 millones de bolívares (Bs. 3.568,5 millones por año).

El financiamiento para rehabilitar los sistemas de agua potable es muy necesario y presentan una alternativa de costo mínimo para cubrir la expansión. Estimaciones recientes realizadas en algunos países de América Latina, a nivel preliminar, indican que los costos de rehabilitación están alrededor de 2.600 Bs/ habitante. Para el caso venezolano, donde la proyección de población será de 22 millones de habitantes en el año 2000 la rehabilitación de los sistemas de abastecimiento, requiere una inversión del orden de 57.200 millones de bolívares en los próximos 10 años, ( 5.720 millones de bolívares por año).

Los costos por operación, mantenimiento y reembolso de fondos, necesarios para una adecuada provisión de agua potable se estiman en 19.50 Bs/m<sup>3</sup> de agua producida y tratada.

En el cuadro No. 3 se señala el total de fondos necesarios para el periodo 1992-2002 (por año), para los escenarios B y D.

Estos resultados nos dan una indicación de que la tarifa promedio por servicio de agua potable durante este periodo, cubriendo costos de inversiones puede estar en el orden de 26 a 39 Bs/m<sup>3</sup>.

Ambas estimaciones de fondo requerido por el sector y el nivel de tarifas, presentan una notable desigualdad con la situación actual, cuando el nivel de recaudación nacional por concepto de servicio de agua potable esta en el orden de Bs. 1.950 millones, y la tarifa promedio es de 26 Bs/m<sup>3</sup>. Estos indicadores son una prueba evidente de las transformaciones requeridas por el sector y la necesidad de asumir cambios extraordinarios, que multipliquen la tarifa por 10 y que incrementen el total de recaudos nacionales a un nivel mayor de Bs. 32.500 millones.

Cuadro No. 3  
Cuadro comparativo Inversiones en escenarios B y D  
(Periodo 1990-2000)

SISTEMAS DE AGUA POTABLE	Millones Bs/Año	
	ESCENARIO B	ESCENARIO D
Costo Operación y Mantenimiento	4979	3568
Rehabilitación de Sistemas Agua Potable	5720	5720
Expansión de Capacidad	5200	2600
Total	15899	11888

## 6. Resultados:

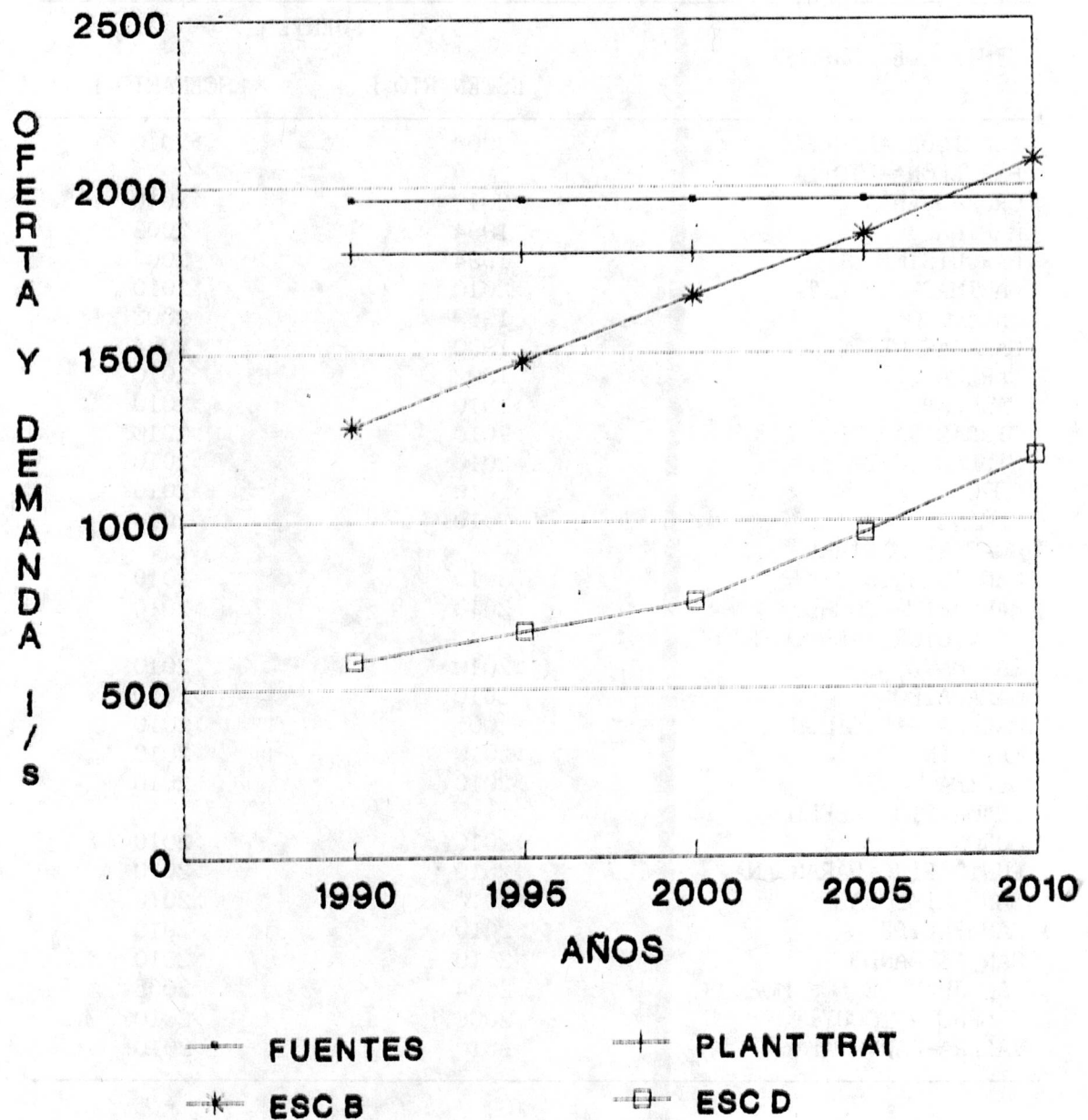
Los resultados de los escenarios A y B son muy similares; la proyección realizada en el escenario C plantea una reducción drástica de la demanda, debido a las estimaciones realizadas de dotación per cápita y de pérdidas. El escenario D, el cual presenta un pronóstico más probable si se implementaran cambios institucionales, con la reducción de pérdidas y del consumo por persona, presenta una demanda de 58 m<sup>3</sup>/s en el año 2000, significativamente menor que el pronóstico del INOS, de 88 m<sup>3</sup>/s. Para el año 2010, la demanda pudiera incrementarse sobre los 80 m<sup>3</sup>/s que, comparado con el pronóstico del INOS de 117 m<sup>3</sup>/s, representa una reducción de 32%.

La Figura 1 muestra un ejemplo del centro Acarigua - Araure, donde la capacidad de la fuente de agua es de 1960 l/s. Bajo el escenario B, el gráfico muestra que será requerida una nueva fuente alrededor del año 2008, en tanto para el escenario D, será necesaria después del año 2010.

En el Cuadro Nº 4: "Expansión de Fuentes de Suministro de Agua Potable", se muestran los resultados para todos los centros. Bajo el escenario D, antes del año 2000 no se requeriría el desarrollo de nuevas fuentes de suministro. Solamente Barinas, Barquisimeto, Calabozo, Area Metropolitana de

# ACARIGUA-ARAURE

## (Demandas Urbanas)



CUADRO N°4  
CRONOGRAMA DE EXPANSION  
FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

CENTRO DE CONSUMO	FUENTE	
	ESCENARIO B	ESCENARIO D
ACARIGUA-ARAURE	2008	>2010
BARCELONA-PTO.LA		
CRUZ-GUANTA	>2010	>2010
BARINAS	1994	2002
BARQUISIMETO	1994	2007
CABIMAS-STA.RITA	>2010	>2010
CALABOZO	1989	2003
CARACAS METROPOLI.	1990	2004
CARORA	1992	>2010
CARUPANO	>2010	>2010
CIUDAD FAJARDO	>2010	>2010
CIUDAD OJEDA	>2010	>2010
CORO	>2010	>2010
CUMANA	>2010	>2010
GUACARA-MARIARA-		
SAN JUAQUIN	>2010	>2010
MARGARITA-COCHE	>2010	>2010
LA VICTORIA-EL COSEJO-		
SAN MATEO	>2010	>2010
MARACAIBO	>2010	>2010
MARACAY-EL LIMON	2005	>2010
MATURIN	>2010	>2010
MERIDA	>2010	>2010
URAMA-PTO.CABELLO-		
MORON	>2010	>2010
PUNTO FIJO-PARAGUANA	>2010	>2010
SAN CRISTOBAL	>2010	>2010
SAN FELIPE	>2010	>2010
SAN FERNANDO	>2010	>2010
SAN JUAN DE LOS MORROS	2004	2005
VALENCIA-TOCUYITO	2006	>2010
VALERA-CARVAJAL	>2010	>2010

Caracas, Maracay - El Limón y San Juan de los Morros tendrán necesidades adicionales de fuentes entre los años 2000 y 2010. Por el contrario, bajo el escenario B, el suministro de agua de Barinas, Barquisimeto, Calabozo, Area Metropolitana de Caracas y Carora deberían incrementarse antes del año 2000.

La propuesta estratégica para mejorar significativamente el sector agua potable incluye los siguientes aspectos básicos:

- Reestructuración de la administración pública centralizada, mediante la creación de entidades descentralizadas autosuficientes desde el punto de vista financiero y administrativo.
- Establecimiento de un programa de regularización del sector, incluyendo los elementos necesarios legales e institucionales que aseguren las facilidades de financiamiento de las agencias responsables de proveer el servicio, por medio de tarifas adecuadas que cubrirían los costos de operación y mantenimiento y financiarían los planes de ampliación.
- Rehabilitación de la infraestructura básica de abastecimiento de agua, la cual permitiría la expansión de la cobertura, basada en la capacidad instalada, reducción de pérdidas y racionalización del consumo.
- Las inversiones en proyectos para expandir la capacidad deberían estar basadas en estimaciones adecuadas de la demanda y consideraciones alternativas de costos mínimos.

Analizando los resultados obtenidos con los diferentes escenarios en función de los lineamientos anteriores, se concluye lo siguiente:

El escenario D sería usado como referencia si se implementan cambios institucionales, y se realizan mayores esfuerzos presupuestarios en mantenimiento y reducción de pérdidas. Como quiera que la implementación de tales programas y la rehabilitación de las aducciones y de los sistemas de distribución toman tiempo, se requerirán altas inversiones, entonces el escenario B se podría seguir usando para planificar estrategias a corto plazo, basado en el potencial de las fuentes existentes.

En cualquiera de los casos, análisis más detallados de demandas y fuentes a nivel de estudios de alternativas establecerán la fecha, estableciendo la medida óptima para cada plan de expansión facilitando así las decisiones para la ejecución de nuevas obras. En el supuesto de que la inversión para la rehabilitación sea necesaria se deberá:

- (1) Recobrar la capacidad original de operación con inversiones previas;
- (2) Resolver los problemas técnicos asociados con la distribución de agua tratada;
- (3) Aumentar la cobertura de las redes, implementando esto sobre los próximos 5 años.

## Análisis Estadístico de Precipitación Máxima Probable en Venezuela

Ing. Marcelo González Sanabria, Jose R. Cordova  
 Postgrado Recursos Hidraulicos, Universidad Simon Bolivar  
 Ing. Pablo Guzman, Universidad Catolica Andres Bello

### I.- Introducción

Se considera a la Precipitación Máxima Probable, PMP, como uno de los valores más usados en el diseño Hidrológico de las grandes obras de ingeniería. La PMP se define, según el U.S. National Weather Service (1982), como "teóricamente la máxima lámina de lluvia, que para una duración específica, puede físicamente ocurrir dentro de una área donde se centre la tormenta, en una región dada y en determinada época del año".

Hershfield, en 1961, desarrolló un método totalmente estadístico para calcular la PMP, empleando los datos de lluvias máximas anuales registradas en las estaciones de lluvia de una zona. Ese trabajo se basó en los análisis de lluvia máxima anual en 24 horas de 2600 estaciones, donde el 50 % de las mismas tenía 20 años de registro y el resto longitudes mayores, hasta 70 años. En dicho estudio se sugiere que los máximos valores de "K\*" están en el orden de 15. Debido a que en el presente trabajo se utiliza básicamente dicho método, su descripción será presentada posteriormente. En resumen el método supone que la lluvia máxima probable es el resultado de sumarle al promedio de lluvia máxima anual, un total de "K\*" veces la desviación estándar de estas lluvias máximas.

El trabajo de Hershfield es ampliado en 1965, obteniéndose nuevas evidencias sobre la relación entre los parámetros del método estadístico y la duración de las tormentas. En este trabajo, Hershfield, encuentra que las curvas envolventes de "K\*" del método estadístico tienen la tendencia a decrecer cuando aumenta la magnitud del promedio de lluvia máxima anual.

Las relaciones entre las estimaciones de la PMP y los cálculos estadísticos de las frecuencias de intensidades máximas (curvas de intensidad duración frecuencia) han sido también objeto de investigaciones muy interesantes, en Hershfield 1981, se comparan los valores del factor de frecuencia definido por Chow, (1961) y las estimaciones de PMP estadística en los Estados Unidos. La principal conclusión de dicho trabajo es que tratar de asociarle a la PMP un período de retorno, en el sentido del que se calcula para las curvas de Intensidad Duración Frecuencia, es absurdo pues se pueden obtener valores de períodos de retorno hasta de  $10^{22}$ .

## II.- Metodología

Es conveniente aclarar previamente que el nombre de "Precipitación Máxima Probable" es un término confuso que se presta a la errónea interpretación de que se trata de la máxima tormenta en cuanto a profundidad de lluvia para una duración que podría jamás ser excedida en una cierta localidad. Lo anterior obviamente no tiene mayor sentido y de lo que se trata es de establecer un cierto límite más o menos racional con respecto a eventos ya en sí mismos de carácter extremo. Este límite por necesidad envuelve criterios subjetivos de algún tipo. La bondad de este u otro tipo de método para la PMP no puede desligarse de la superposición de dicha lluvia a una cuenca en particular, para calcular así la llamada Crecida Máxima Probable, CMP, que es el resultado de la respuesta de una cuenca a la PMP. En dicha respuesta no solamente importan las características del pico de la descarga sino también el volumen de la misma, a través del hidrograma resultante.

La Precipitación Máxima Probable (PMP) suele calcularse de acuerdo a dos procedimientos de diferente estructura metodológica: el método estadístico y los métodos determinísticos.

La información de tormentas ocurridas en la zona y los análisis meteorológicos son utilizados en los métodos determinísticos para el cálculo de la PMP. Dicho método usa una combinación de modelaje físico y una serie de parámetros meteorológicos que deben ser estimados. Seguidamente se describe el primero de estos métodos, que fue el utilizado en el presente trabajo.

### Método Estadístico

Este procedimiento está basado solamente en la información de lluvias máximas ocurridas en la zona de estudio.

A continuación se describe en forma resumida el método estadístico modificado por Hershfield (1971), sobre el cual se basa este estudio para estimar la PMP. El mismo se basa en la conocida ecuación de análisis de eventos extremos desarrollada por Chow (1961).

$$P_{tr} = P_{ma} + K S_a \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

donde,

- $P_{tr}$  : Precipitación con período de retorno  $t_r$
- $K$  : Factor de frecuencia
- $P_{ma}$  : Valor promedio de Precipitación Máxima Anual.

$S_a$  : Desviación Estándar de la Precipitación Máxima Anual. 233

De esta manera en cada estación, para una duración fija, se selecciona en cada año el valor máximo de precipitación registrada en esa duración. La media de los máximos anuales es  $P_{ma}$  y su desviación estándar es  $S_a$ . El factor de frecuencia  $K$ , es el número de desviaciones estándar en las que el valor considerado  $P_{tr}$  excede el promedio  $P_{ma}$ . Este factor depende del tamaño de la muestra, del intervalo de registros de la lluvia, y de los valores máximos observados en los datos.

En vez de fijar el período de retorno y proceder de acuerdo a una distribución de extremos preseleccionada, con el cálculo de la correspondiente precipitación,  $P_{tr}$ , el método de Hershfield procede de la manera que se describe a continuación.

La variable  $K$  es estimada individualmente para las diferentes estaciones de lluvia de la región, y la llamaremos  $K^*$ . Para esto se fija una duración, digamos 24 horas, y de la serie de valores extremos anuales de lluvia en 24 horas se calcula el promedio  $P_m$  y la desviación estándar  $S_p$ , omitiendo en el cálculo a la lluvia máxima,  $P_{max}$ , observada en la serie anterior. Este cálculo es equivalente a la observación de la máxima lluvia ocurrida después que  $P_m$  y  $S_m$  han sido calculados. De estos valores se calcula la  $K^*$  obtenida de la

diferencia entre el valor de lluvia omitido y el promedio  $P_m$ , dividida entre la desviación  $S_m$ , es decir:

$$K^* = (P_{max} - P_m) / S_m \quad \dots\dots (2.2)$$

donde,

- $K^*$  : factor de frecuencia de frecuencia de Hershfield
- $P_{max}$  : Precipitación máxima
- $P_m$  : Promedio de la precipitación sin incluir al máximo valor ( $P_{max}$ )
- $S_m$  : Desviación estándar sin incluir a  $P_{max}$ .

Para proceder al cálculo de la PMP desde 1 hora hasta 24 horas en su estación, se usan el promedio y la desviación estándar de los valores extremos anuales tomando ahora en cuenta el valor máximo histórico omitido previamente en el cálculo. De esta forma la ecuación (2.1) puede ser escrita como :

$$PMP = P_{ma} ( 1 + K^* CV ) \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

donde :

CV, es el coeficiente de variación

$$CV = S_p / P_{ma} \dots\dots\dots (2.4)$$

Los valores promedio y desviaciones, deben ser corregidos o ajustados por efectos de la aparición en la muestra de datos de valores máximos, por el tamaño o longitud del registro y por el intervalo del muestreo de la lluvia, según se presenta en Hershfield (1961).

El trabajo que seguidamente se reporta se orientó principalmente hacia el estudio de los parámetros  $P_{ma}$ ,  $K^*$ , y  $S_a$ .

### III.- Cálculo de los Parámetros Estadísticos de las Intensidades Máximas Anuales y Parámetros del Método Estadístico

#### III.1.-Valores de la Media, Coeficientes de Variación y " $K^*$ "

Como se explicó anteriormente para el cálculo de la precipitación máxima probable de una región es necesario conocer, además del factor  $K^*$ , los valores de la media, y el coeficiente de variación para cada una de las estaciones de la zona.

$$CV = S / P_{ma} \dots\dots\dots (3.1)$$

donde,

CV : coeficiente de variación  
S : desvío de lluvias máximas anuales  
 $P_{ma}$ : Valor promedio de las lluvias máximas anuales

El parámetro estadístico  $K^*$ , según se explicó en la parte metodológica, es fundamental en la estimación de la PMP por el método estadístico. En el método estadístico la estimación de dicho parámetro lleva implícito el concepto de buscar valores de  $K^*$  de diseño que sean superiores a los calculados con las fórmulas 2.2 y 2.3. Uno de los objetivos de los cálculos de la  $K^*$  en esta parte del trabajo fue procesar la mayor cantidad de valores de  $K^*$  de modo de lograr valores envolventes de los mismos. Al igual que para la desviación y el coeficiente de variación, se determinaron, para cada una de las duraciones de las 461 estaciones analizadas, los correspondientes valores del parámetro  $K^*$ .

#### III.3.- Distribuciones de Frecuencia de Valores de $K^*$ , del Promedio y Coeficientes de Variación de las Intensidades Máximas Anuales

Con el objeto de analizar los intervalos de variación de los parámetros  $K^*$ ,  $X_m$ , C.V.. de Venezuela se

realizaron los gráficos de sus distribuciones de frecuencia, parte de las cuales se presentan en la figura 3.1. En la tabla 3.1 están los valores promedio de los parámetros  $K^*$ ,  $X_m$  y C.V.

Tabla 3.1.- Valores medios de los parámetros  $K^*$ ,  $X_m$ , y C.V. para toda Venezuela

Duración lluvia ( min )	$K^*$	$X_m$	C.V.
60	3	52	0.3
180	3	72	0.4
360	3	80	0.4
1440	3	93	0.3

#### IV.- Relaciones entre los Valores de $K^*$ y los Promedios de Intensidades Máximas

##### IV.1.- Estudio Regional de los Valores de $K^*$

Se dividió al país en catorce regiones según se aprecia de la figura 4.1, y se procedió a calcular los valores de  $K^*$ . Para dividir al país en regiones se tomó muy en cuenta a las precipitaciones de invierno, de verano, y anuales. También se tomó en cuenta al relieve del país. En la figura 4.2 se presentan un ejemplo de los gráficos regionales de  $K^*$  que fueron calculados en este trabajo para las 14 zonas que se dividió el país y para las duraciones desde 15 minutos hasta 24 horas.

##### IV.2.- Valores de $K^*$ para Todo el País

Nuevamente se calculó los valores de  $K^*$  para cada duración y para cada una de las 461 estaciones, pero esta vez no se realizó ninguna clasificación regional sino que se analizó al país en conjunto. Los gráficos con las relaciones entre  $K^*$  y  $P_{ma}$  se presentan en las figuras 4.3 y 4.4.

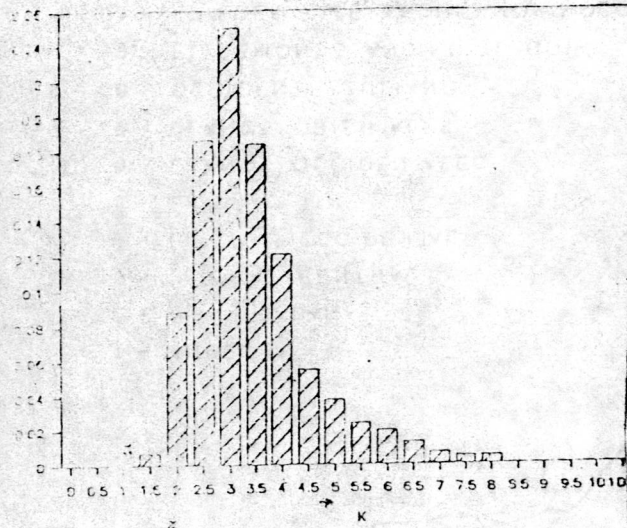
#### V.- Análisis Estadístico de las Intensidades de las Lluvias Máximas para Venezuela

##### V.1.- Envoltentes de Intensidad-Duración-Frecuencia

En los estudios tradicionales de frecuencia de intensidad de lluvias máximas se toma la información de láminas máximas para diferentes duraciones y se procede a realizar

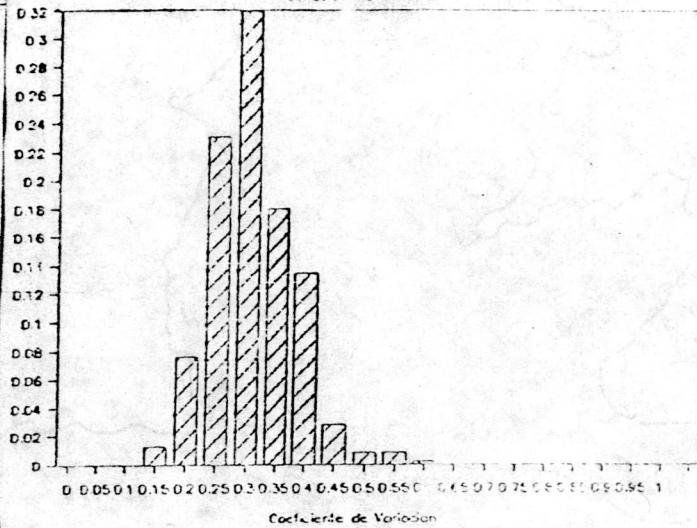
Distribucion de Frecuencias de K

Duracion 360 minutos



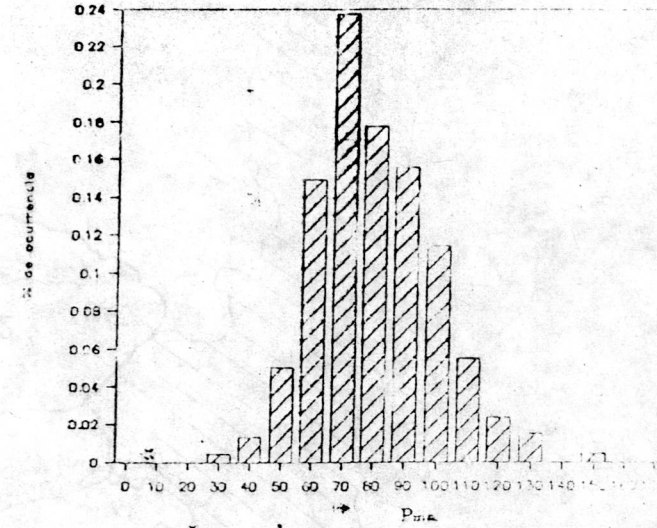
Distribucion de Frecuencias de C.V.

Duracion 60 minutos



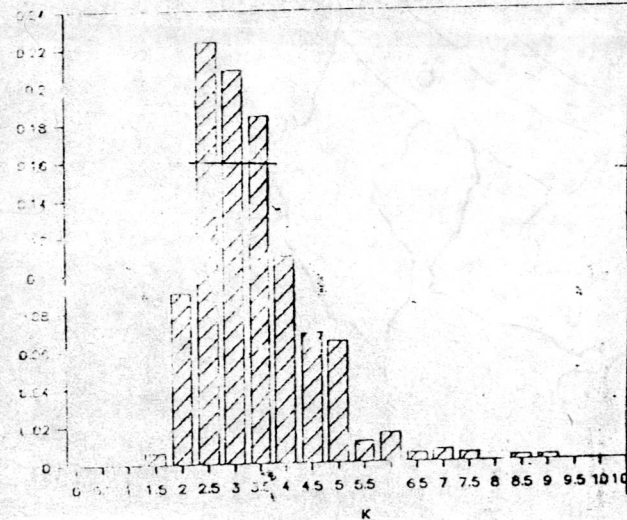
Distribucion de Frecuencias de P<sub>max</sub>

Duracion 360 minutos



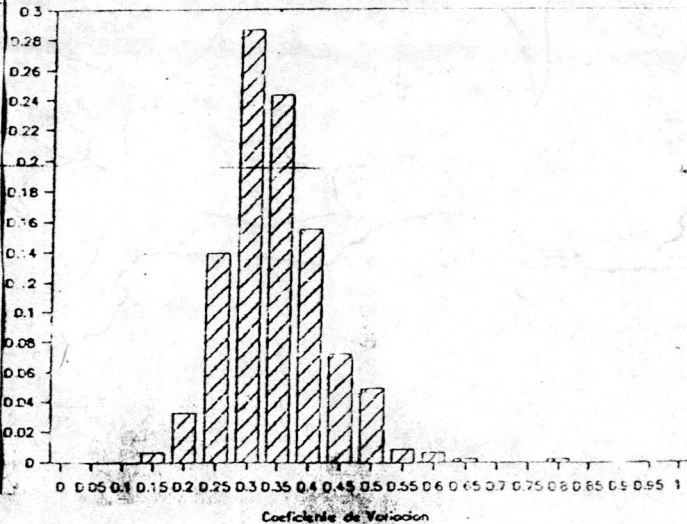
Distribucion de Frecuencias de K

Duracion 1440 minutos



Distribucion de Frecuencias de C.V.

Duracion 160 minutos



Distribucion de Frecuencias de P<sub>max</sub>

Duracion 1440 minutos

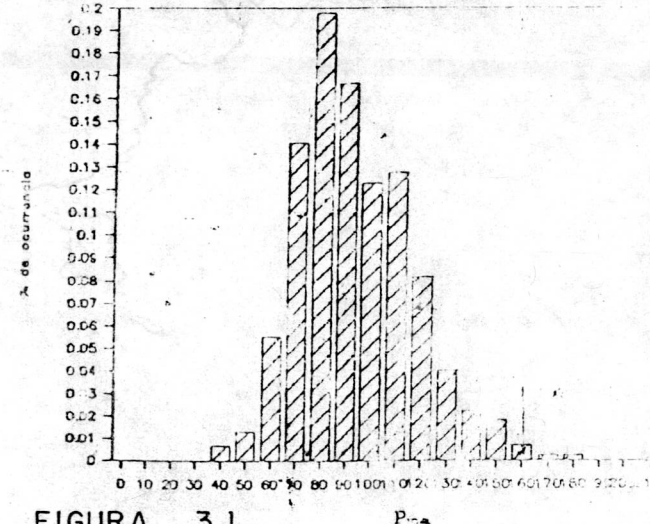


FIGURA 3.1

P<sub>max</sub>

- 1.- ANDES
- 2.- GRAN SABANA
- 3.- LITORAL CENTRAL
- 4.- LITORAL OCCIDENTAL
- 5.- LITORAL TUY
- 6.- LLANOS OCCIDENTALES
- 7.- LLANOS ORIENTALES
- 8.- OCCIDENTE ZULIANO
- 9.- PIEDEMONTE ANDINO (LAGO)
- 10.- PIEDEMONTE ANDINO (ORINOCO)
- 11.- RIO GUARICO
- 12.- EL TOCUYO
- 13.- ZONA CENTRAL
- 14.- ZONA SUR

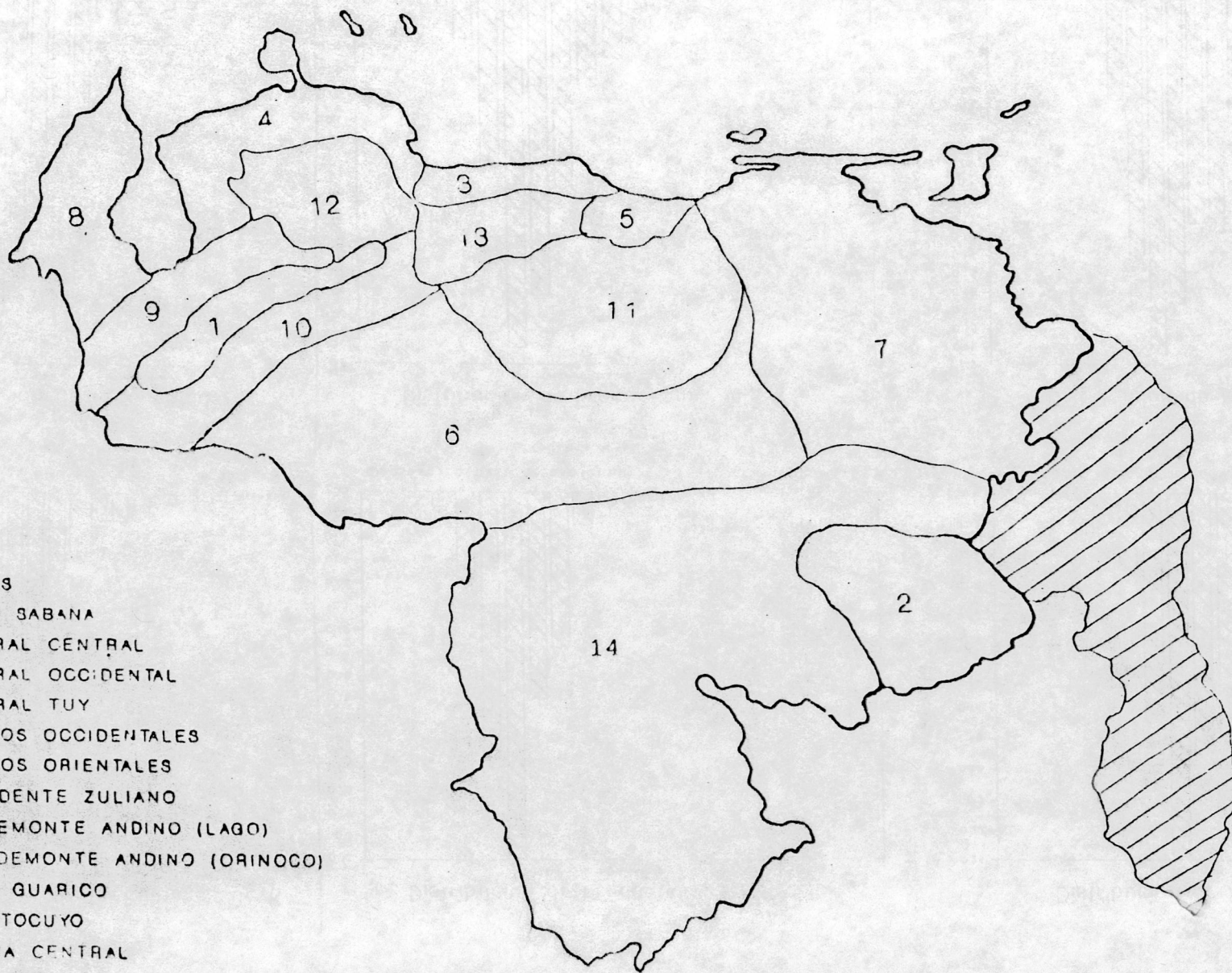
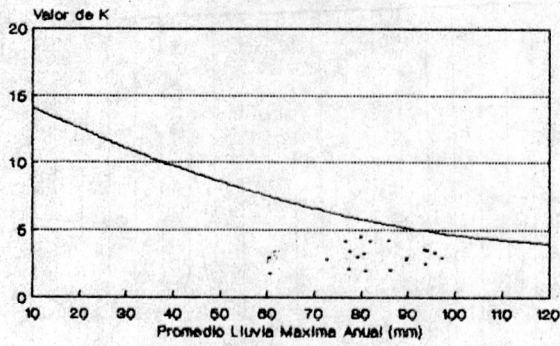
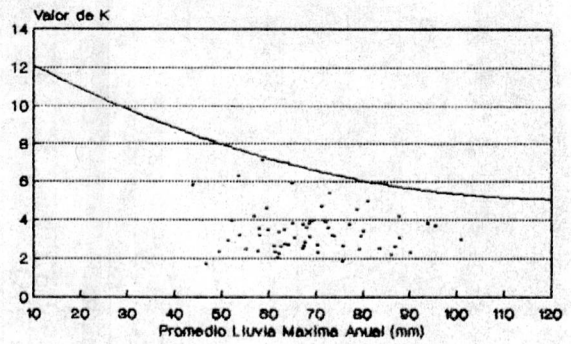


Figura 4.1

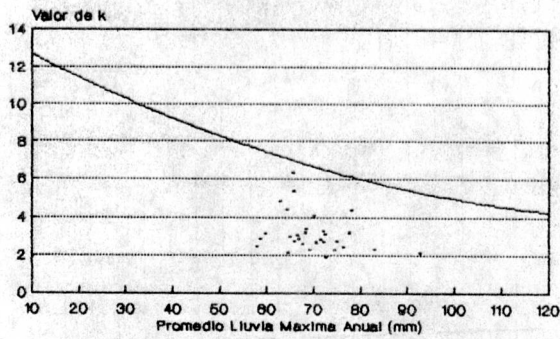
**Litoral Tuy**  
Duración 360 minutos



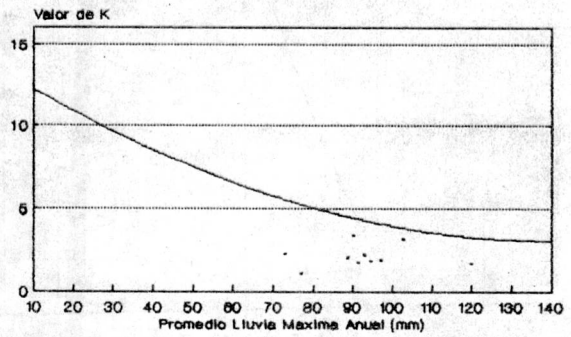
**Llanos Orientales**  
Duración 360 minutos



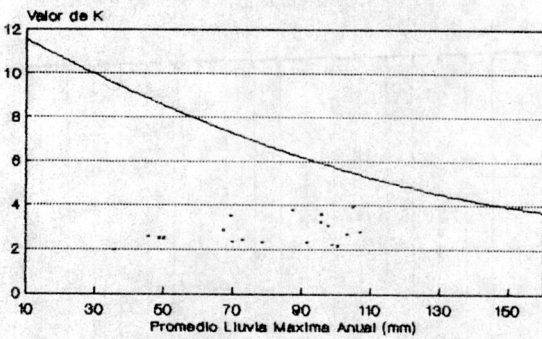
**Rio Guarico**  
Duración 360 minutos



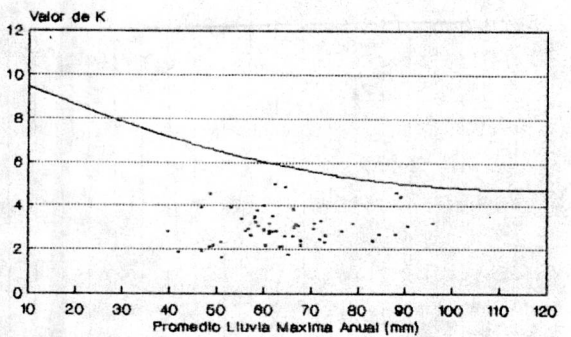
**Zona Sur**  
Duración 360 minutos



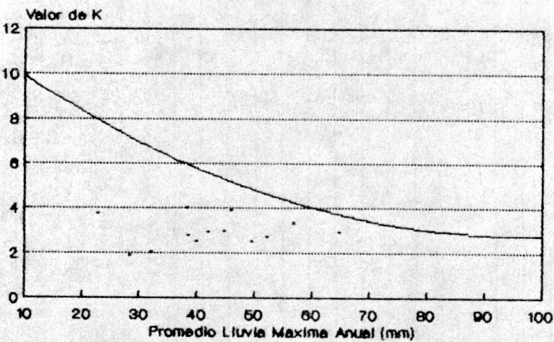
**Piedemonte Andino (Orinoco)**  
Duración 360 minutos



**El Tocuyo**  
Duración 360 minutos



**Andes**  
Duración 360 minutos



**Piedemonte Andes (Lago)**  
Duración 360 minutos

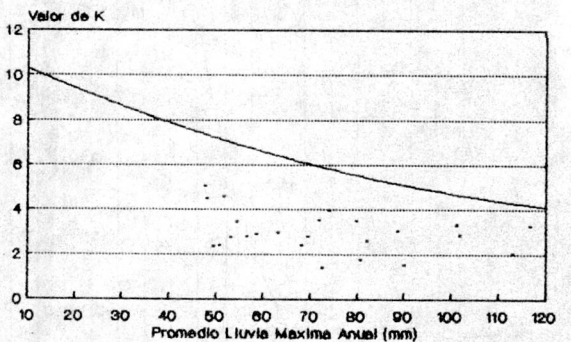
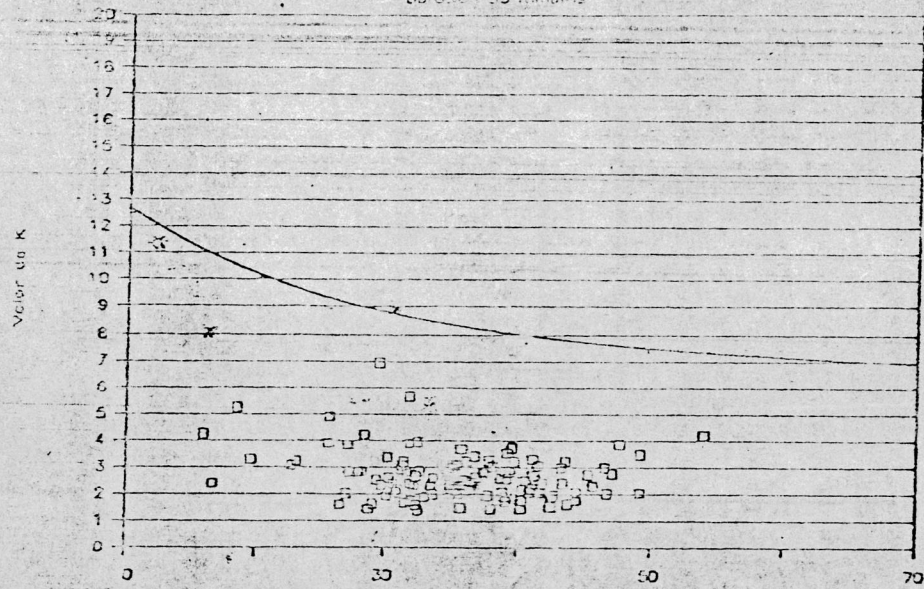


Figura 4.2

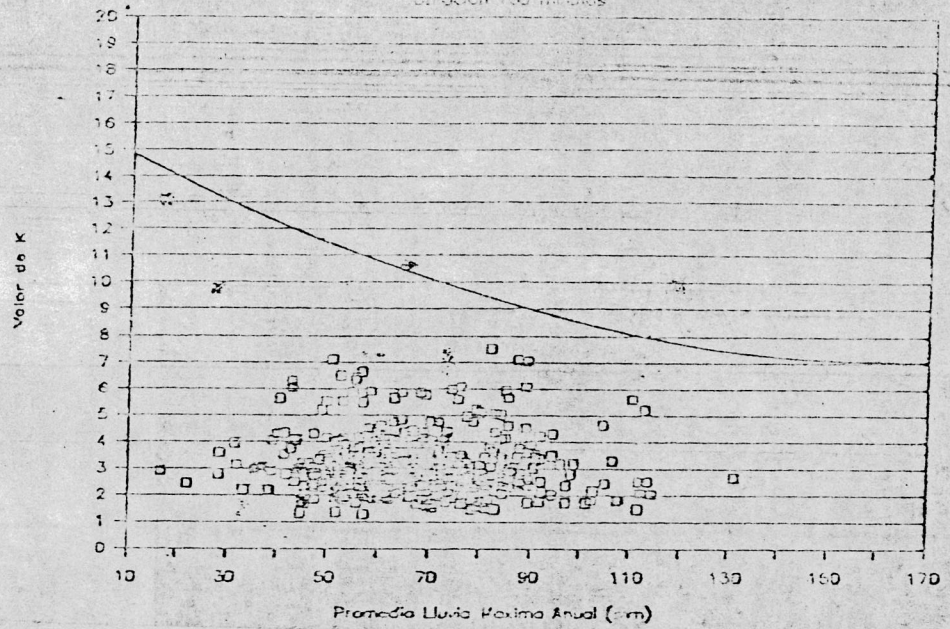
### Metodo Estadístico Calculo PMP

Duración 30 minutos

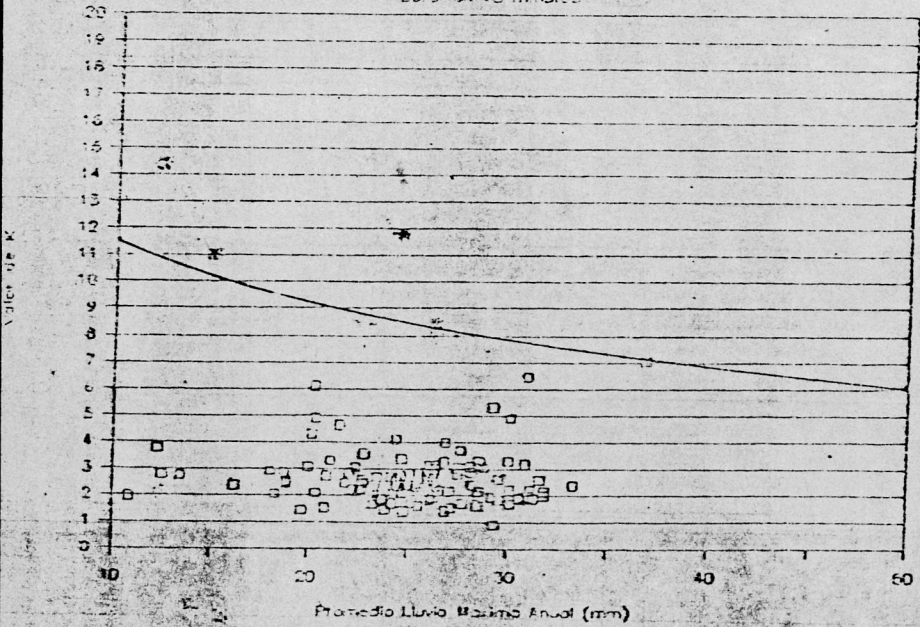


### Metodo Estadístico Calculo PMP

Duración 180 minutos



Duración 15 minutos



Duración 60 minutos

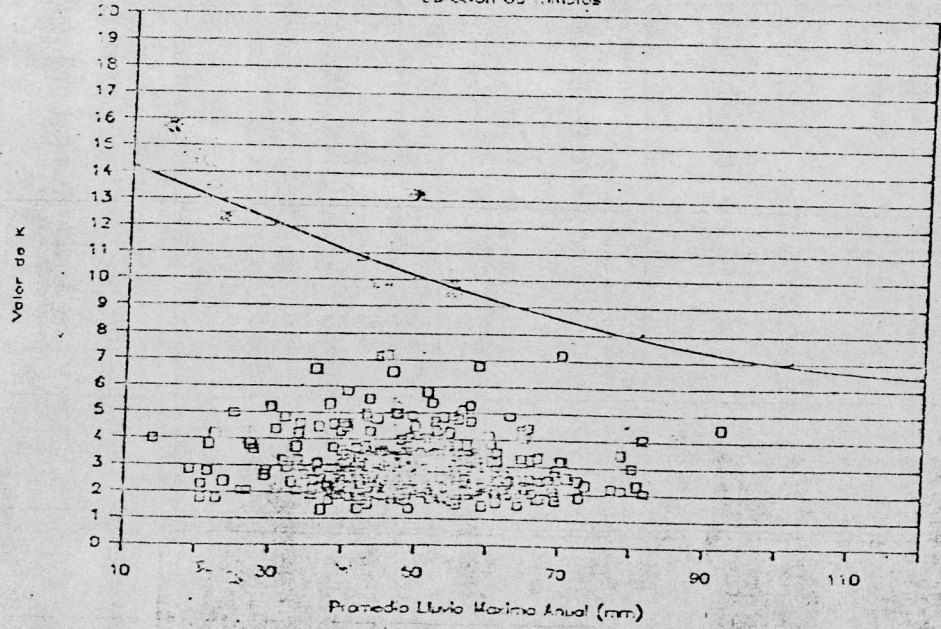
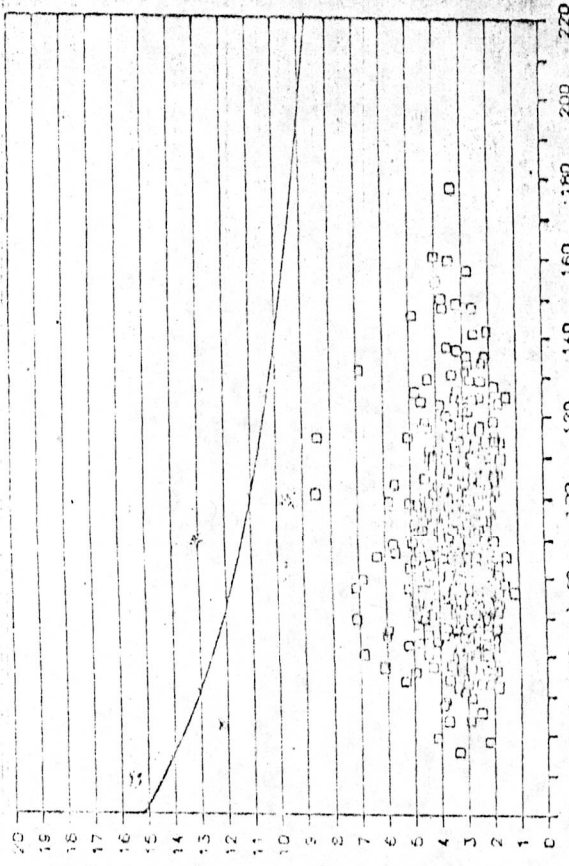


figura 4.3

# Metodo Estadístico Cálculo PMP

Duración: 160 minutos



# Metodo Estadístico Cálculo PMP

Duración: 540 minutos

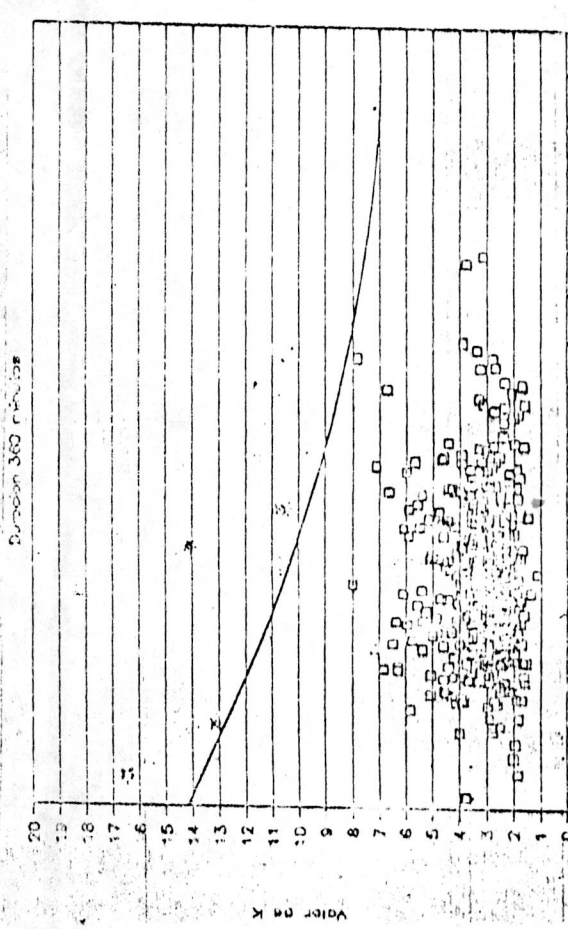
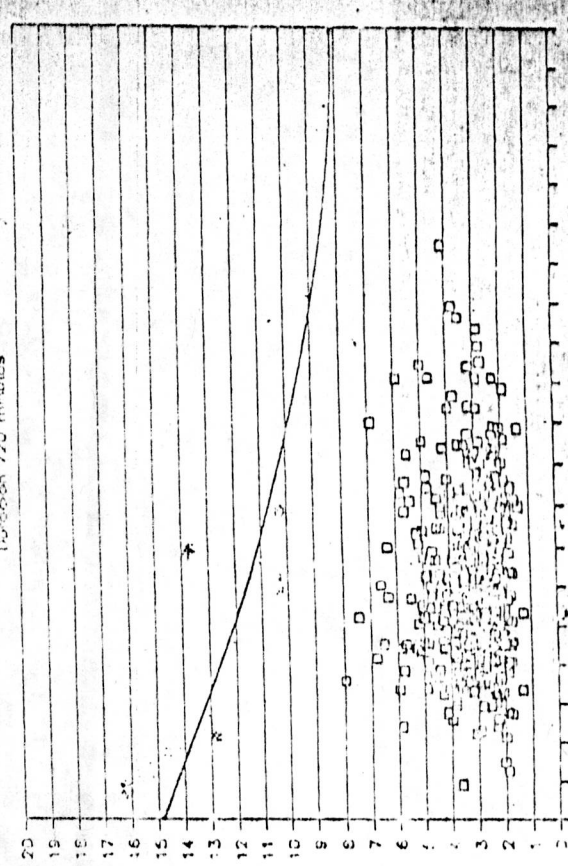
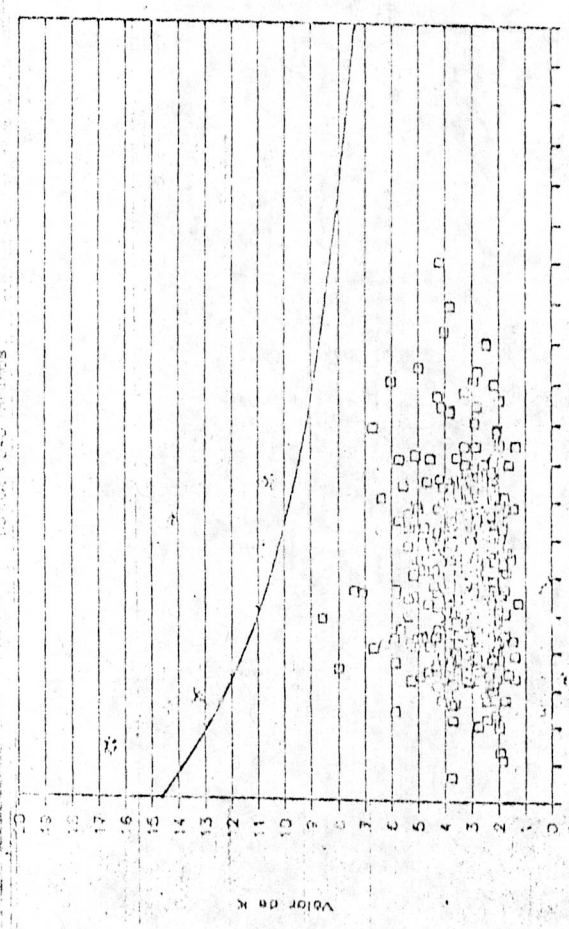


Figura 4.4

el análisis de Profundidad-Duración-Frecuencia, ajustándole a dichos datos una distribución probabilística de extremos Tipo I o distribución Gumbel.

Esta es la forma tradicional de calcular las curvas de Intensidad Duración Frecuencia, otra forma de realizar dicho análisis es partiendo que el valor de una variable aleatoria, como es el caso de la intensidades máximas de lluvia, puede ser representada calculando su valor promedio más un desvío  $\delta x$  a partir de dicho promedio, es decir,

$$X = P_{ma} + \delta x \dots\dots\dots (5.1)$$

La desviación,  $\delta x$ , dependerá de las características de dispersión de la distribución probabilística de  $P_{ma}$  y del período de retorno  $T_r$ , además de otros parámetros estadísticos que definan a la función de probabilidades que mejor se le ajusta a dicha variable. De esta manera la variable aleatoria se puede definir en función de la media y del producto de la desviación estándar,  $\sigma$ , por un factor de frecuencia  $K$ . El factor  $K$  será función del período de retorno y del tipo de función de probabilidad que se le ajuste a  $X_m$ . La expresión 5.1 quedaría entonces como:

$$X = P_{ma} + \sigma * K \dots\dots\dots (5.2)$$

$$X = P_{ma} + CV * K \dots\dots\dots (5.3)$$

De acuerdo a los resultados de Chow (1959) se puede demostrar que para el caso en que la variable de lluvia máxima anual,  $X_m$ , siga una distribución de probabilidades de extremos tipo I o Gumbel existe una relación entre lo que Chow denomina el factor de frecuencia  $K = K_{tr}$ , y el período de retorno  $T_r$  de la forma :

$$K_{tr} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} ( Y + \ln ( \ln ( \frac{T_r}{(T_r - 1)} ) ) ) \dots\dots(5.4)$$

En este trabajo interesa calcular relaciones de Intensidad duración Frecuencia envolventes para toda Venezuela, o lo que es lo mismo calcular para todas las estaciones del país las curvas de IDF y luego discriminar las que den los mayores valores de intensidad para cada duración en cada frecuencia.

En lugar de realizar este tedioso trabajo para cada estación, se diseñó un método de búsqueda directa, mediante la definición de este problema de búsqueda como un problema de optimización de una función no lineal con restricciones lineales.

Seguidamente se explica la metodología seguida

para la consecución de este objetivo.

Definiendo la variable  $X_m$  como la intensidad de lluvia máxima anual, que hasta ahora hemos llamado  $P_{ma}$ , y expresando el valor de precipitación,  $P_{Tr}$ , de período de retorno  $T_r$  como:

$$P_{Tr} = X_m + K_{Tr} * \sigma = X_m (1 + K_{Tr} * CV) \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

donde :

$X_m$  es el promedio de los máximos anuales

$CV$  el coeficiente de variación de los máximos anuales

$K_{Tr}$  el factor de frecuencia de período de retorno  $T_r$ .

Si se hace un gráfico, en cada duración de lluvia, con los pares de valores de  $CV$  y  $X_m$ , se puede definir un espacio convexo de posibles valores  $X_m$ ,  $CV$ . Dicho espacio puede acotarse con rectas del tipo:

$$CV = m * X_m + n \quad \dots\dots\dots (5.6)$$

De esta forma el máximo de la expresión 8.9 puede ser calculado como un problema de optimización matemática con una función objetivo no lineal y restricciones lineales definidas como sigue:

$$\max P_{Tr} = X ( 1 + K_{Tr} * CV ) \quad \dots\dots\dots (5.7)$$

$$CV = m_i * X + b_i \quad i = 1 \dots j \quad \dots\dots (5.8)$$

Existen numerosos algoritmos para resolver este tipo de problemas en este caso se utilizó el método de la proyección del Gradiente ( The Gradient Projection Method , D. Luenberrger, 1965 ).

Como el objetivo de esta parte del estudio es obtener los valores máximos de intensidad  $P_{Tr}$  para una duración dada en toda Venezuela el problema de maximización anterior se debió resolver para cada duración . Para cada valor de la duración se calcularon los parámetros "  $m_i , b_i$  " .

Los resultados de esta maximización dan como valores envolventes de Intensidad Duracion Frecuencia del país los valores que se presentan en la figura 5.1.a para efectos comparativos se incluye la figura 5.1.b que contiene las curvas

### Comparacion lluvias maximas registradas Venezuela .vs. Maximas Mundiales ( \* )

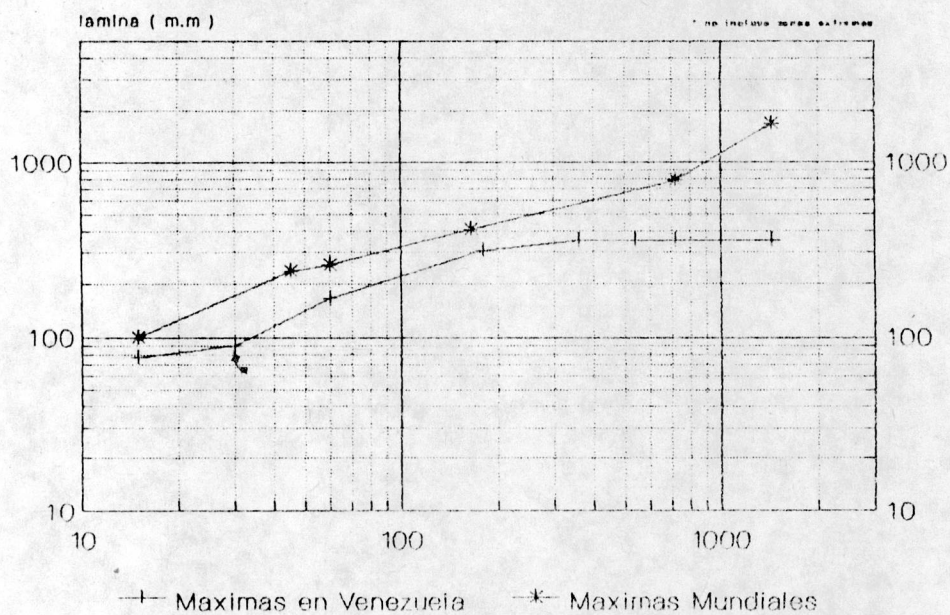


figura 5.1.b

### Curvas Intensidad Duracion Frecuencia

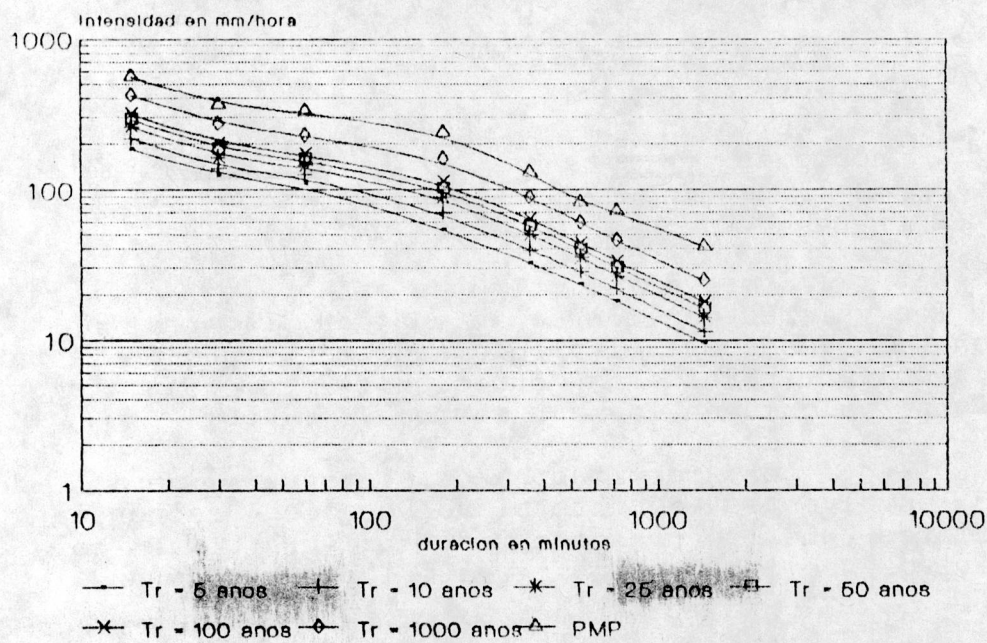


figura 5.1.a

**V.2.- Envoltentes de Precipitación Máxima Probable por el Método Estadístico**

Al igual que en el caso anterior, se diseñó una metodología de cálculo que permitiera obtener los máximos valores de PMP ( método estadístico ) para Venezuela sin tener que calcular los valores de cada estación de lluvia y luego buscar los máximos.

La metodología consistió en tomar la expresión 3.4 del método estadístico donde se expresa el valor de la PMP en función del factor  $K^*$  de Hershfield , el promedio de las lluvias máximas anuales y su coeficiente de variación , como una función no lineal que se desea maximizar según la expresión:

$$\max \text{ PMP} = P_{ma} ( 1 + K^* * CV ) \dots\dots\dots (5.9)$$

A diferencia del caso anterior, ahora las variables  $K^*$  y  $CV$  son a su vez funciones de  $P_{ma}$  luego se deberá expresar en la función anterior  $K^*$  y  $CV$  como funciones de  $P_{ma}$ . Para ello se definió en cada caso las funciones envolventes del espacio de valores  $K^*, P_{ma}$  y  $CV, P_{ma}$  . De esta forma se definieron las siguientes funciones:

$$K^* = a + b * P_{ma} + c * P_{ma}^2 \dots\dots\dots (5.10)$$

$$CV = m_i * P_{ma} + b_i \quad i = 1 \dots\dots\dots j \dots\dots (5.11)$$

Utilizando el método Generalizado del Gradiente Reducido ( Generalized Reduced Gradient Method , Luenberger 1965) se obtuvieron los máximos de PMP para cada duración juntando todos los datos de lluvia recopilados para Venezuela. La tabla 5.1 presenta estos resultados y las envolventes de IDF.

**Tabla 5.1 Resultados de las Envoltentes de las Curvas Intensidad Duración Frecuencia y la PMP en Venezuela**

Dur.\Tr	5	10	25	50	100	1000	PMP
15	46.1	54.1	64.5	71.8	78.05	104.3	139.4
30	61.7	68.8	81.8	91.6	100.0	134.9	178.5
60	109.6	125.0	144.9	159.2	171.9	225.6	325.7
180	161.0	205.7	263.7	304.0	338.1	476.6	708.4
360	194.1	234.5	296.0	339.6	376.1	527.5	779.9
540	211.1	256.6	315.3	356.2	391.2	535.2	792.8
720	217.4	262.8	321.4	361.9	396.8	540.4	848.3
1440	229.2	275.8	342.5	390.4	431.3	598.3	989.4

## VI.- Conclusiones

En la figura 6.1.a se grafican las envolventes de Intensidad Duración Frecuencia ( con Gumbel )de Venezuela. Si se calcula la frecuencia equivalente que tendria la PMP para las distintas duraciones, como se indica dicha figura, se observa que independientemente de las duraciones las PMP tiene periodos de retorno mayores a los 30000 años.

Si el cálculo anterior se hace con la distribución de frecuencia LogGumbel. dicho periodo de retorno, como se observa en la figura 6.1.b bajaría cerca de los 10000 años.

En la figura 5.1 se han comparado los valores de lluvias maximas registradas en Venezuela con los máximos mundiales ( sin incluir zonas climaticas extremas ), observándose que hasta 6 horas los de Venezuela siguen la misma tendencia de los mundiales. Para duraciones mayores de 6 horas se observa que las láminas envolventes para Venezuela son mucho menores que las de estas máximas mundiales observadas. ello indica que nuestras lluvias son altamente concentradas en cortas duraciones.

De las figuras 4.3 y 4.4 donde estan los valores de  $K^*$  para diferentes duraciones en todo el pais se observó que un valor de  $K^* = 11$  engloba a todos los promedios de lluvia máximos anuales. También se observó que generalmente, las envolventes de  $K^*$  tienen la tendencia a disminuir a medida que se incrementa los promedios de lluvia máximos anuales. De las distribuciones de frecuencia de los valores de este parametros se puede concluir que para el caso de Venezuela valores sobre el orden de 15 son demasiado altos ya que la mayor  $K^*$  calculada fue de 11.

Una de las hipótesis promovidas por Hershfield en su trabajo de 1965, concluye que los valores de  $K^*$  disminuyen al aumentar el promedio de lluvia maxima anual. sin embargo en esta investigación, para Venezuela, dicha hipotesis no se puede probar en forma tan contundente por la poca dispersion de los pares de valores  $P_{ma}$  y  $K^*$ . En las figuras donde se relacionan estos parametros en la mayoria de los casos hay una gran concentración de pares de valores sobre valores centrales y hacia los extremos que es donde se puede advertir la hipotesis en cuestion, existen muy pocos puntos de  $P_{ma}$  y  $K^*$ .

### Intensidad Duracion Frecuencia con PMP Envloventes de Venezuela ( GUMBEL )

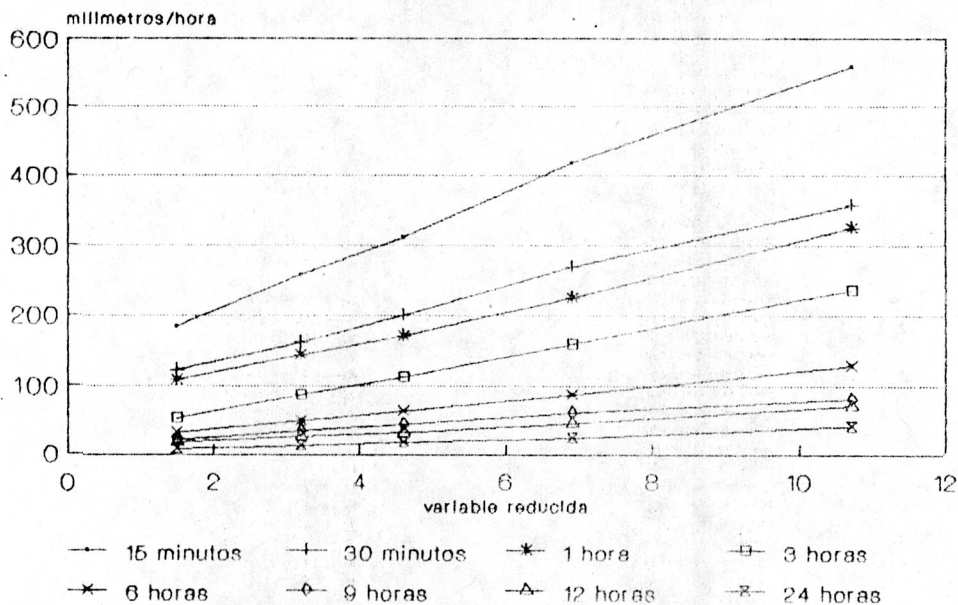


figura 6.1. a

### Intensidad Duracion Frecuencia con PMP Envloventes de Venezuela ( LOGGUMBEL )

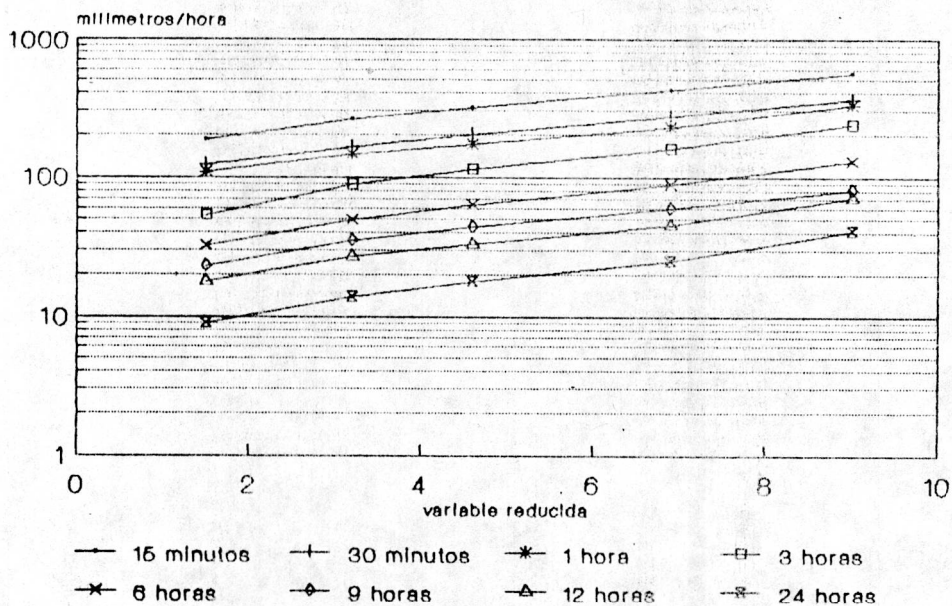


figura 6.1. b

## Referencias Bibliográficas

- 1.- HERSHFIELD D. M. " Estimating the Probable Maximum Precipitation", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Sep., 1961
- 2.- HERSHFIELD D. M. "Method for Estimating Probable Maximum Rainfall". Journal American Water Works Association. V. 57, N. 8, 1965
- 3.- CHOW.V.T." A general formula for hydrologic frequency analysis, Trans. Am. Geophys Union, vol 32, 1951.
- 4.- LUENBERGER, DAVID. " Introduction to Linear and NonLinear Prrograming ". Addison Wesley, 1973.
- 5.- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, "Assessment of the Magnitude and Frequency of Flood Flows". Water Resources Series No. 30, United Nations, New York, 1967.
- 6.- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, "Manual For Estimation of Probable Maximum Precipitation". Operational Hydrology. Report No. 1, 1978.

MODELOS ESTADISTICOS PARA PRONOSTICOS DE NIVELES  
EN LOS RIOS APURE Y ORINOCO

ORLANDINO ARTEAGA T., KARL-R. NIPPES, SILVIU STANESCU  
Consultores de la Cooperación Técnica Alemana  
Proyecto MARNR/GTZ - RODECO/DHM

**PRESENTACION**

El sistema hidrográfico del río Orinoco constituye el eje central del futuro desarrollo de Venezuela. Su utilización como arteria de circulación marcará el paso en el desarrollo del país en materia agrícola, ganadera, minera, forestal, petrolera, hidroeléctrica, turística etc.

Conocer anticipadamente los niveles esperados y sus tendencias de variación a lo largo de los ríos Apure y Orinoco permitirá estimar los calados y definir con más aproximación los canales de tráfico fluvial. Datos necesarios para planificar las actividades de navegación, estimar los tipos de embarcaciones y volúmenes de carga que con seguridad pueden ser transportados durante las diferentes épocas del año.

El transporte de materiales pesados como carbón mineral y coke del Táchira y la bauxita de El Jobalito son actualmente los usos más significativos en navegación. Conocer el régimen de variación de los niveles servirá para determinar la capacidad y seguridad en el manejo de las cargas durante todo el año.

Saber con antelación los niveles de inundación en épocas de crecientes interesa a los organismos de defensa civil para la toma de decisiones en situaciones de emergencia. Los niveles de estiaje y sus posibles duraciones también requieren de atención por sus repercusiones agrícolas y económicas.

La Dirección de Hidrología y Meteorología del MARNR por intermedio del Proyecto MARNR-GTZ-RODECO "Fortalecimiento de las Actividades Hidrometeorológicas Nacionales", financiado por el Ministerio Alemán de Cooperación Técnica a través de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica GTZ, y ejecutado conjuntamente por la DHM y la Consultora RODECO GmbH, elaboró modelos estadísticos para pronósticos de niveles en las principales estaciones de los ríos Orinoco y Apure, para antedecencias de 1 a 10 días.

**Introducción**

Con base en la información hidrométrica disponible, se elaboraron modelos estadísticos para pronósticos de niveles en las principales estaciones de los ríos Apure y Orinoco, hasta Ciudad Bolívar, para varios intervalos de antedecencia en días, y orientados hacia los usuarios interesados en las previsiones de niveles para uso multidisciplinario.

Se eligieron periodos de registros con años comunes a todas las estaciones y muestras representativas con 730 valores de niveles diarios, es decir, dos años hidrológicos consecutivos.

El sistema hidrográfico se dividió en tramos que permiten calcular pronósticos alternos para una misma estación. Cada tramo es independiente y sus pronósticos se basan en la información recibida de estaciones seleccionadas aguas arriba y en el sitio mismo del pronóstico. Ningún pronóstico se apoya en otros pronósticos calculados para las estaciones de apoyo.

Los modelos elaborados son del tipo estadístico lineal multiregresivo. Para cada tramo se realizaron cálculos para dos o mas grupos muestrales con años diferentes, eligiéndose los resultados con mejores valores estadísticos. Se analizó toda la información existente en calidad y homogeneidad y en todos los casos se utilizaron solamente años completos de lecturas reales.

Los modelos adoptados responden a los estadísticos de asociación y error estándar de estimación global o individual de valores mas altos. Las diferencias entre éstos y los derivados utilizando otros periodos muestrales son mínimas. En rigor práctico, cualquiera de las series de modelos generados podría ser igualmente adoptada.

Los pronósticos se calculan para intervalos de 1 a 10 dias de anticipación en función de los tiempos estimados de traslación de la onda de un extremo a otro del tramo considerado. Intervalos mayores no serían reales y estarían en el campo de la especulación, muy a pesar de que si se aplicaran las mismas técnicas estadísticas para mas de 10 dias de antelación, podrían obtenerse estadísticos de menor precisión, pero aún aceptables bajo el punto de vista práctico.

Los modelos estadísticos se utilizan comunmente en muchos campos científicos y especialmente en Hidrología. Para pronósticos de niveles se aplican en muchos países con bastante éxito.

#### Síntesis hidrográfica del río Orinoco

El nombre Orinoco proviene del término Guirinoko que en lenguaje indígena guaraúna significa lugar donde se navega.[1] Es uno de los ríos mas importantes del mundo, ocupando por caudal el 4º lugar entre los ríos del trópico, siendo superado solamente por los ríos Amazonas, La Plata y Congo.[2]

En cifras generales, su cuenca se estima del orden de 1 millón de km<sup>2</sup>, de los cuales el 74% corresponden a Venezuela y 27% a Colombia. La longitud media del cauce principal es de 2400 km y el caudal medio anual hasta la estación 0860 Musinacio es del orden de los 36,000 m<sup>3</sup>/s, con un coeficiente de escorrentía global de 0.44, considerado el más alto entre los ríos de América del Sur.[2]

Total o parcialmente drenan hacia su cauce las areas de 15 de los 20 Estados y los 2 Territorios Federales Amazonas y Delta Amacuro.[3]

Aunque no existen datos oficiales sobre la extensión medida hasta cada una de las estaciones hidrométricas, ni tampoco de los principales rios tributarios, algunos estudios dan los siguientes valores aproximados:[4]

<u>CODIGO</u>	<u>ESTACION</u>	<u>RIO</u>	<u>AREA Km2.</u>
0705	Bruzual	Apure	44000
0710	El Samàn	Apure	52700
0022	San Fernando	Apure	119500
0725	Hornallita	Aro	14500
0749	San Luis	Caura	89230
0785	La Vitera	Cuchivero	14000
0860	Musinacio	Orinoco	787000
0815	Cararabo	Meta	102400
0810	Caracaras	Meta	103000
0851	Sta.Ma.Guaycas	Orinoco	24430
0835	Guachapana	Orinoco	54450
0845	Guayaguayare	Orinoco	258000
0850	Puerto Ayacucho	Orinoco	344000
0855	Caicara	Orinoco	695000
0870	Ciudad Bolivar	Orinoco	<u>836000</u>

Cuenca total hasta su desembocadura (aprox.) 912050

#### Red de estaciones hidrométricas

La cuenca del río Orinoco se extiende por casi todo el país. Su red hidrométrica histórica es relativamente amplia y en ocasiones con estaciones de largo período de registro (en Ciudad Bolívar desde 1924). Las mas de ellas son baterías de miras fraccionadas, con una o dos lecturas diarias. Actualmente solo Ciudad Bolívar y Puerto Ayacucho poseen limnógrafo registrador.

Con propósitos de navegación, el Instituto Nacional de Canalizaciones -INC- opera y mantiene una red de miras en el río Orinoco entre Caicara y su desfogue al Mar Caribe. Por su parte, el Proyecto Orinoco-Apure, -PROA-, mantiene control de los tramos navegables del Apure y afluentes hasta su confluencia con el Orinoco.

Algunas de las estaciones mas importantes disponen de radio transmisor y envían sus lecturas diarias a las oficinas centrales de la DHM en Caracas. Esto las convierte en estaciones con datos en tiempo real, necesarias para la operación de los modelos de pronósticos. Lamentablemente, no todas disponen de esta facilidad y eso trae imprecisiones difíciles de soslayar en las estimaciones de los pronósticos.

### Selección del tipo de modelo

Simular el régimen limnimétrico para grandes cuencas como el río Orinoco y sus tributarios, requeriría de una amplia gama de información básica, imposible de obtener con la cobertura actual de las redes hidrometeorológicas e hidrométricas.

En tales condiciones, utilizar modelos sofisticados se considera complejo y poco confiable. Los modelos estadísticos, por su naturaleza, facilidad de manejo y calibración, son de suficiente precisión y confiabilidad, y para su aplicación se cuenta con información adecuada y de largo periodo.

### Selección de las estaciones hidrométricas

No todas las estaciones poseen condiciones favorables a los modelos de pronósticos. Entre los criterios de selección deben darse los siguientes:

- Facilidades de transmisión de datos en tiempo real.
- Ubicación geográfica que refleje sensiblemente el régimen del río principal y sus afluentes.
- Con suficiente registro para derivar inferencias válidas acordes con la calidad y confiabilidad de los datos.
- Con suficiente espaciamiento para disponer del tiempo de traslación de onda acorde con las antecedenencias de los pronóstico deseados. Desfases mayores o menores no están en consonancia con el fenómeno físico.

Los desfases elegidos se basaron en los tiempos medios de concentración hasta la estación de pronósticos estimados así:

<u>DE</u>	<u>A</u>	<u>KM</u>	<u>DIAS</u>
SAN FERNANDO	CAICARA	188	2
CARARABO	CAICARA	530	6
PUERTO AYACUCHO	CAICARA	330	4
PUERTO AYACUCHO	MUSINACIO	530	6
PUERTO AYACUCHO	CD. BOLIVAR	735	8
CAICARA	MUSINACIO	200	2
CAICARA	CD. BOLIVAR	405	4
MUSINACIO	CD. BOLIVAR	205	2

La división del sistema por tramos permite alternativas de cálculo para el caso de fallas en la transmisión, pudiendo dar los pronósticos con base en tramos alternos. Desfases mayores se basan mejor en estaciones mas distantes.

Las estaciones con cálculo de pronósticos sobre el río Orinoco son: Puerto Ayacucho, Caicara, Musinacio y Ciudad Bolivar. Para el río Apure: Bruzual y San Fernando.

### Elección de muestras representativas

La efectividad de los resultados está en razón directa con la confiabilidad y representatividad de las muestras respecto a la población de la cual se derivan. Los criterios adoptados para seleccionar las muestras fueron:

- Ser de tamaño apropiado para cubrir todos los rangos de variaciones que puedan presentarse. A mayor tamaño menor valor del error esperado global.

Muestreo sin prejuicios y libre de cualquier influencia específica o intencionada. Es decir, muestras elegidas al azar y sin cualidades escogidas a fin de que cada uno de sus items tenga independencia y la misma probabilidad de ocurrencia.

Todos los elementos de la muestra deben tener el mismo origen o igual relación causa-efecto.

### Aplicación de los modelos

Los modelos han sido probados desde 1990 con resultados satisfactorios. [5]

A continuación se señalan algunos criterios importantes para la evaluación de los pronósticos.

En el Cuadro siguiente se dan las desviaciones típicas para las series observadas y pronosticadas en la estación Caicara para las antecedencias señaladas.

#### 0855 Rlo Orinoco en Caicara 1990

<u>Serie Observada</u>	<u>Series Pronosticadas para</u>			
	2	4	8	10
4.66	4.66	4.67	4.70	4.71
Relación Pron./Obs.	1.00	1.00	1.01	1.02

Las diferencias entre niveles calculados y observados variaron en centímetros según el intervalo de pronósticos, los mas próximos a 0.00 (valor observado = valor pronosticado) fueron antecedencias de 1, 2 y 4 días. Para 6, 8 y 10 días, al bien aumentaron, los casos extremos fueron del orden de 1.00 m hasta 1.7 m. Las gráficas porcentuales de las desviaciones respecto al valor observado para 8 días acusaron extremos de 8% y rangos de +/- 3% la mayor parte del año. Para antecedencias de 2 a 4 días, las desviaciones no superaron el 4%. Se ilustra para 8 días.

En Canada, para los pronósticos del río Rojo, Manitoba, los porcentajes de desviación adoptados y la calidad del ajuste se contrastan según el criterio siguiente:

Pronóstico Bueno ..... % error  $\leq$  21 %  
 Deficiente..... 22%  $\leq$  % error  $\leq$  37%  
 Pobre..... % error  $>$  = 38 %

En Polonia las normas adoptadas son mas estrictas y los porcentajes equivalentes para el caso anterior son de 10, 20 y 30 por ciento. En Hungría para el río Danubio se han fijado rangos de variación con nivel de confianza del 97 % de ocurrencia así:

0.15 a 0.30 m para pronósticos de 2 días,  
 0.25 a 0.40 m para pronósticos de 3 días,  
 0.40 a 0.65 m para pronósticos de 4 días y,  
 0.55 a 0.85 m para pronósticos de 5 días.

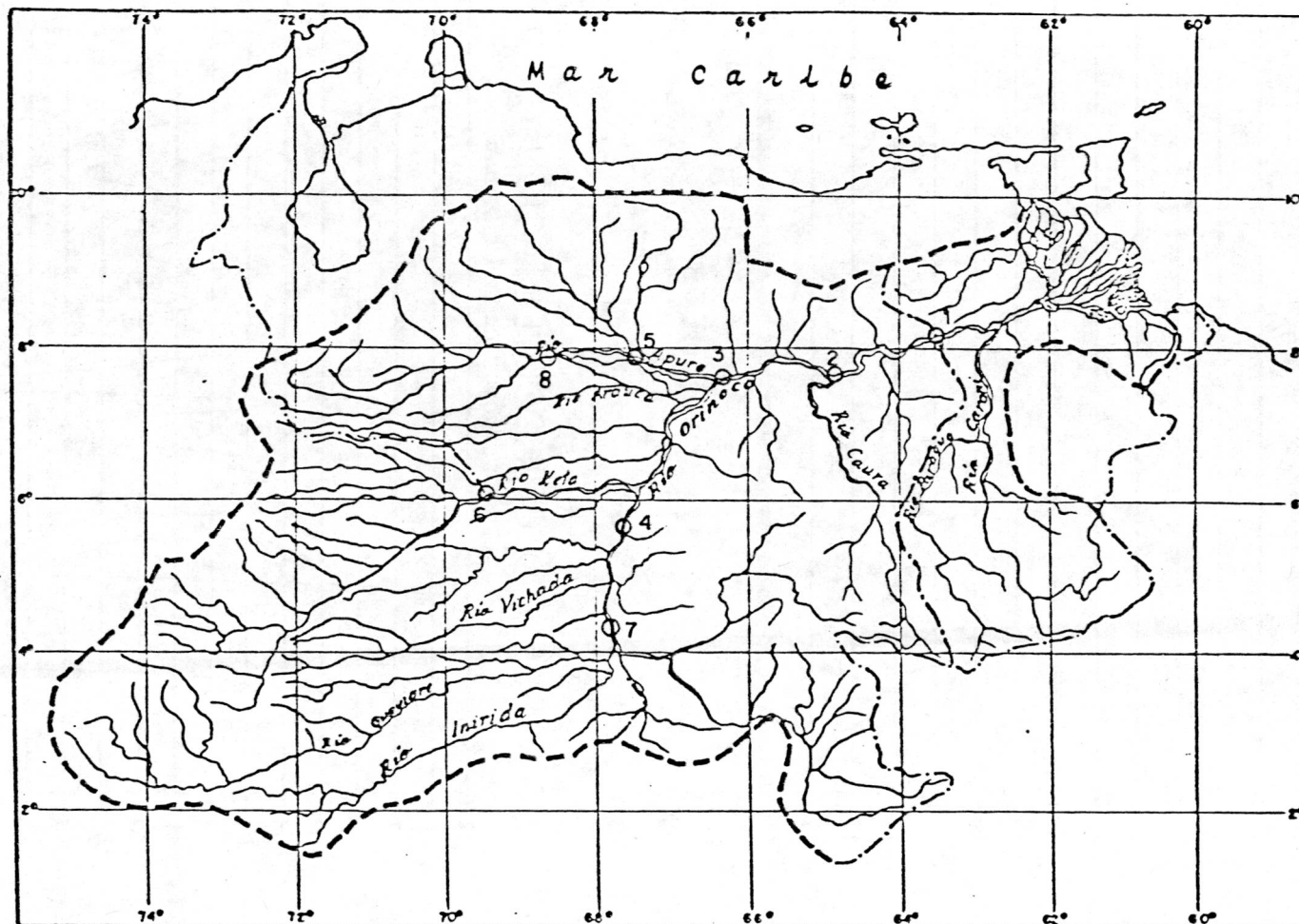
Una rápida comparación con los resultados logrados con los modelos indica que los mismos están dentro de los límites de cualquiera de las normativas aceptadas en otros países.

Para operar sistemáticamente los modelos se requiere de al menos una microcomputadora PC-XT con 640 Kb.

#### BIBLIOGRAFIA

1. ZINCK, A., 1977. Ríos de Venezuela. Cuadernos Lagoven. Petroleos de Venezuela, Venezuela.
2. BALEK, J., 1983. Hydrology and Water Resources in Tropical Regions. (Developments in water science) Elsevier. Amsterdam, Holanda.
3. PUBLICACION Diagnóstico. 6 de marzo 1987. Año 3, Vol. 1. Caracas, Venezuela.
4. PEREZ HERNANDEZ, D. Agosto 1983. Alcance e importancia de las mediciones hidroquímicas en Ríos y Reservorios Subterráneos de Venezuela.. I Congreso Bolivariano y III Congreso Venezolano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Caracas. Venezuela.
5. ARTEAGA T., O. Febrero 1991. Pronósticos de niveles en estaciones hidrométricas de los ríos Apure y Orinoco. 1990. Análisis de resultados. DHM, Caracas, Venezuela.
6. ZEVIN..S.F., WMO/TD - N° 117. Effectiveness of Hydrologic Forecasts. Technical Report N° 18. Geneve. Switzerland.
7. LICHY. R., 1978. YA KU Las fuentes del Orinoco. Monte Avila Editores. Caracas, Venezuela.

# CUENCA DEL RIO ORINOCO

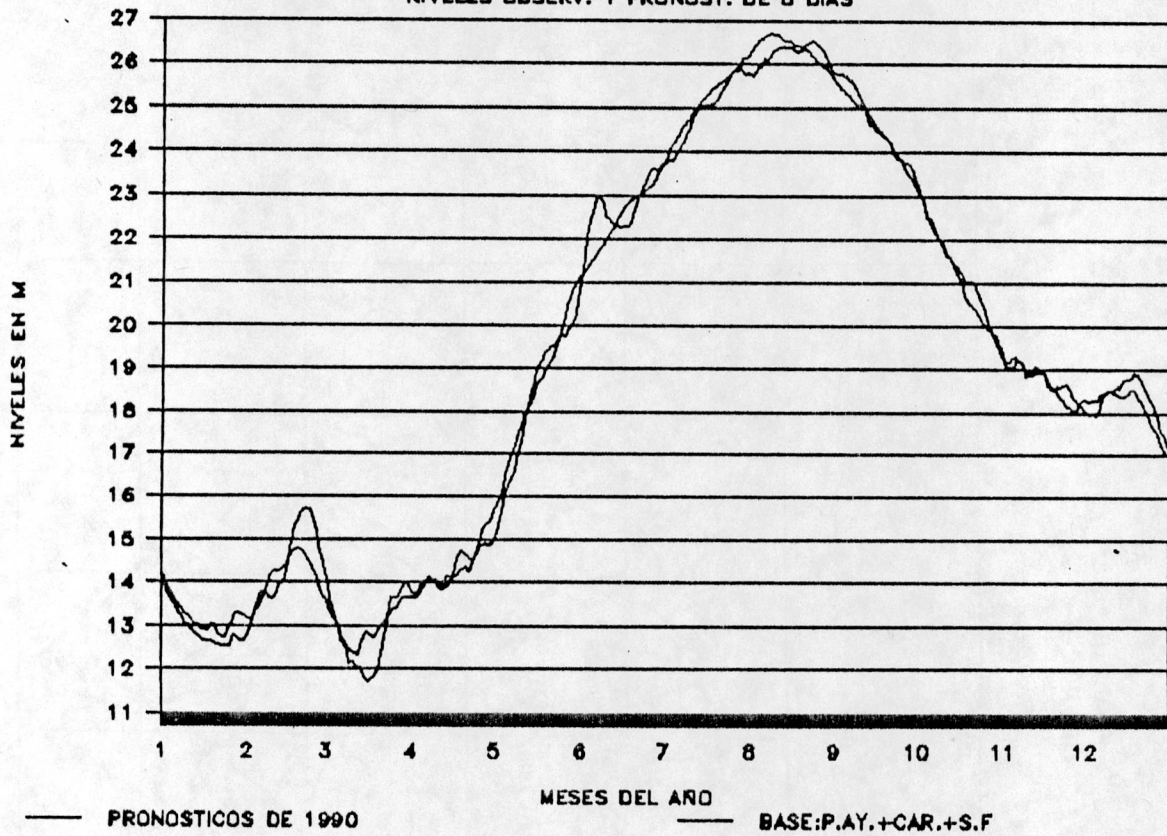


- 1 Cda. Bolivar
- 2 Musinacio
- 3 Coicora
- 4 Pto. Ayacucho
- 5 San Fernando
- 6 Cararabo
- 7 Guayaquayare
- 8 Bruzual

○ Estaciones de aforo  
 --- Limite de cuenca

### 0855 RIO ORINOCO ESTACION CAICARA

NIVELES OBSERV. Y PRONOST. DE 8 DIAS



### 0855 RIO ORINOCO ESTACION CAICARA

ERROR DEL PRONOSTICO DE 8 DIAS EN %

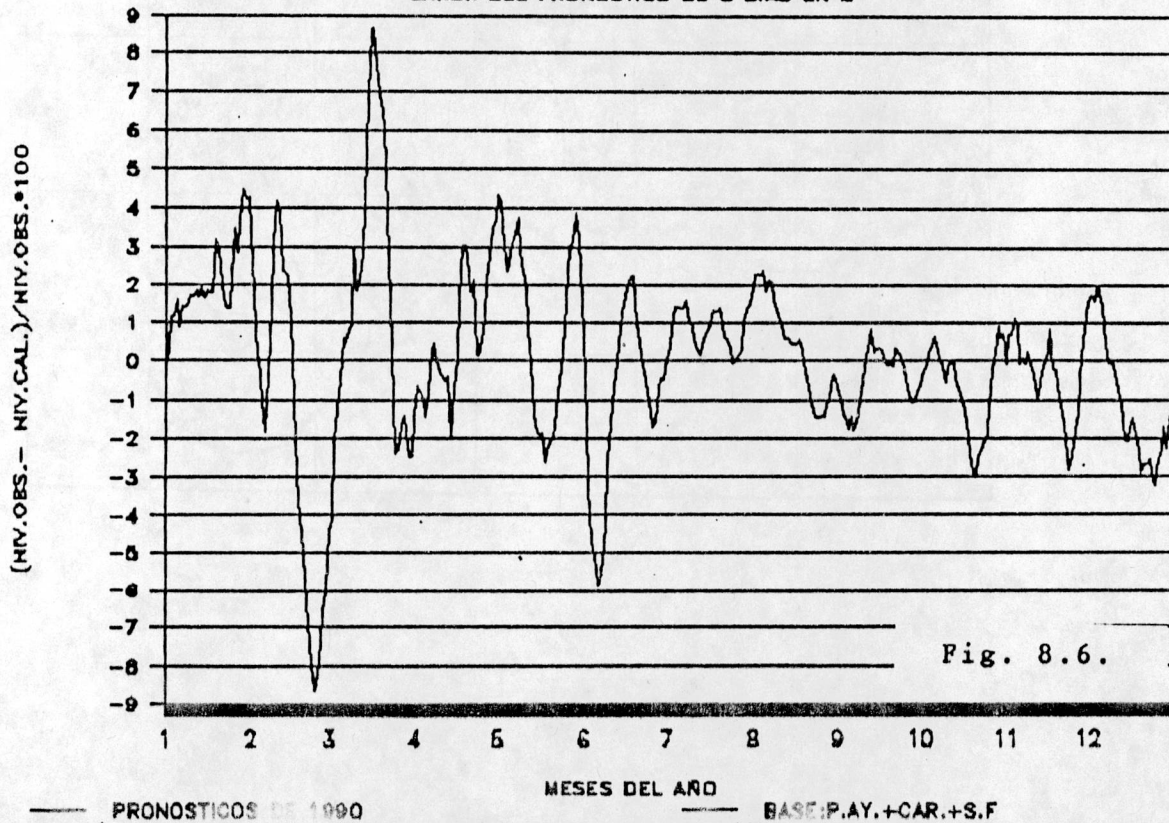


Fig. 8.6.

REPUBLICA DE VENEZUELA  
MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
DIRECCION GENERAL SECTORIAL DE INVESTIGACION Y CONSERVACION DE  
AGUA, SUELO Y VEGETACION  
DIRECCION DE HIDROLOGIA Y METEOROLOGIA

ANALISIS DE LA PRECIPITACION  
EN CARACAS-ESTACION  
OBSERVATORIO CASIGAL  
(1891-1989)

Elaborado por:

Ing. Edgar Martiena  
Ing. Luis F. García

## ANALISIS DE LA PRECIPITACION EN CARACAS ESTACION OBSERVATORIO CAGIGAL

### 1. INTRODUCCION

En casi todas las regiones del mundo, la precipitación constituye un parámetro de importancia que es tomado en cuenta en la planificación de las tareas cotidianas.

En Caracas, año a año, las precipitaciones originan calamidades y situaciones críticas de deslizamientos e inundaciones, así como trastornos en la ejecución de las diferentes labores con repercusión de pérdidas en la economía.

Sin embargo, estas precipitaciones no son del todo aleatorias, sino que conforman un cierto régimen definido por una temporada seca, interrumpida ocasionalmente por días lluviosos, originadas por situaciones provenientes del Norte y Noroeste y por una temporada de lluvia también con interrupciones de períodos secos, por ocasionales penetraciones del anticiclón del Atlántico.

En el presente trabajo se realiza un análisis estadístico del régimen pluviométrico de Caracas, en base a 99 años de registro de la Estación Observatorio Cagigal (administrada por la Armada de Venezuela). El objetivo de dicho análisis lo constituye en generar información estadística analizada, como una herramienta para la planificación de las actividades de la ciudad, así como servir de base para diferentes estudios y propósitos en el área de Caracas.

Se presentan en este trabajo entre otras cosas, estadísticos de la precipitación a nivel mensual, variación temporal de la misma, sus valores máximos y mínimos y frecuencia de ocurrencia de las máximas precipitaciones.

### 2. INFORMACION BASICA

Para el presente estudio se recabó la información de totales de precipitación mensual, de la Estación Observatorio Cagigal (Serial 0532), perteneciente a la Armada de Venezuela, para el período disponible: 1891-1989.

Con fines de verificar si los datos de la serie son homogéneos, se aplicó el Test de Homogeneidad no Paramétrico de la Corrida (RUN TEST), dando como resultado que la serie es homogénea en su totalidad, razón por la cuál no requiere ningún ajuste.

### 3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

A continuación se presentan los análisis realizados con la finalidad de definir el comportamiento de la precipitación en Caracas, basado en los 99 años de registros continuos de la Estación "Observatorio Cagigal".

### 4. ESTADISTICA BASICA

En la Tabla 3.1, se muestran los estadísticos de la serie de valores de precipitación mensuales y anuales de la Estación Observatorio Cagigal.

Entre otros se observa una media de 827 mm, la cual corresponde con una precipitación relativamente baja.

Se observa que más del 80% de la precipitación anual corresponde a los meses de Mayo a Noviembre, así mismo se observa que los coeficientes de variación bajos, menores de 0.60, ocurren en este mismo período, lo que indica que los altos totales de precipitación mensual son usuales para ésta época y varían poco de un año a otro.

En cambio para los meses de Diciembre a Abril los totales de lluvia mensual son pequeños y su coeficiente de variación es mayor o igual a 0.80, lo que indica gran variabilidad de la precipitación, pero dentro de rangos absolutos pequeños de los totales mensuales.

Lo anterior sirve de base para considerar la temporada de lluvia en Caracas entre los meses de Mayo a Noviembre, ambos inclusive.

Un sesgo mayor que 1 en el período de Diciembre a Abril, confirma la existencia de valores máximos ocasionales que hacen que la serie se desplace más hacia la derecha. Esto es típico de los meses secos con ocasionales precipitaciones muy grandes debido a eventos o situaciones especiales y no usuales. Un sesgo menor que 1 en el período de Mayo a Noviembre, nos indica una agrupación de la serie con muchos valores cercanos a la media y pocas desviaciones en los eventos máximos.

El valor máximo absoluto de la serie de precipitación mensual, ocurre para el mes de Octubre de 1954 con un valor de 327 mm.

## 5. HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE PRECIPITACION ANUAL

Se elaboraron 99 histogramas correspondientes a los valores históricos de totales mensuales de precipitación para cada año.

Se observa para el histograma del año 1914, un déficit de precipitación muy marcado durante todo el año, exceptuando los meses de Mayo y Junio. El total de la precipitación fué de 459.9 mm, el cual corresponde al mínimo absoluto de la serie.

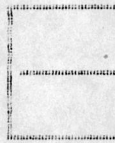
Contrariamente se observa que para el año 1938 las precipitaciones mensuales superan abiertamente las medias históricas mensuales para casi todo el año, a excepción de los meses de Junio y Julio. El total para el año fué 1269 mm, el cual corresponde con el máximo absoluto de la serie.

## 6. DISTRIBUCION TEMPORAL DE LA PRECIPITACION

Se observa que la distribución de la precipitación media se comporta en una forma unimodal, con un máximo cercano a los 110 mm. que abarca desde Agosto a Octubre y un mínimo en Febrero y Marzo de solo 11 mm. al mes.

Era de esperarse que la distribución temporal de la precipitación en Caracas, mostrara un carácter bimodal con máximos en las épocas (con un cierto retardo), de máxima radiación solar (Mayo/Junio y Septiembre/Octubre); sin embargo, se observa un solo máximo desde Junio a Octubre. Es probable, por experiencia sinóptica, que no se observe el descenso intermedio entre los dos picos, debido a que entre Junio y Octubre, se intensifica la temporada de perturbaciones tropicales en el Caribe, esto origina ocurrencia de eventos asociados a precipitación sobre tierra, que aunque son aisladas en el tiempo, aportan sin embargo cantidades grandes de precipitación al total mensual.

El mínimo absoluto desde Diciembre hasta Mayo coincide en general con la temporada seca del país.

MAXIMOS ABSOLUTOS		224 mm. Febrero 1951 (situación extraordinaria)
		261 mm. Junio 1958
		327 mm. Octubre 1954

## 7. TOTALES HISTORICOS DE PRECIPITACION MENSUAL

Se elaboraron los histogramas de frecuencia de precipitación para cada uno de los meses.

En ellos se observa como se distribuye la serie de totales de precipitación mensual durante el período 1981 a 1989 (9 años).

En los meses de la época de sequía se observa una distribución asimétrica positiva y en los meses del período de lluvia una distribución normal. Ahora, el anual se presenta evidentemente normal.

## 8. TOTALES HISTORICOS DE PRECIPITACION ANUAL

La media anual corresponde a un valor de 827 mm, con una desviación de 178 mm. y con un coeficiente de variación de 0.21.

Se sometió la serie de datos anuales de precipitación a un Test de KOLMOGOROV/SMIRNOV, dando como resultado que la serie es normal para un grado de significación de 98%. Se aplicó el Test de  $\chi^2$  para las series anuales y mensuales, resultando que las series se distribuyen normalmente.

Se observa que un 70% de los años se encuentran agrupados entre los límites de la media más o menos ( $\pm$ ) una desviación estandar (1005 a 649 mm), o sea similar al 68.2% en la serie normal teórica.

Igualmente se observa que el 13% de los años se pueden considerar como húmedos, mientras que la probabilidad de ocurrencia de años secos corresponde a un 17%.

En el Gráfico 3.5.1, se aprecia una disminución significativa de la varianza a partir de 1958.

Con la finalidad de verificar dicha situación, se procedió a comparar los registros de precipitación de Cagigal con la de la Ciudad Universitaria, para el período disponible de 1950-1962. Se observó un coeficiente de variación de 0.227 y 0.246 para Cagigal y la Estación Ciudad Universitaria, respectivamente.

Igualmente se comparó con la Estación Caracas-Catía para el período 1950-1963. Obteniéndose unos coeficientes de 0.180 y 0.179 para Cagigal y Catía, respectivamente.

Los coeficientes de variación obtenidos en las diferentes estaciones cercanas a Cagigal, reflejan un comportamiento homogéneo a esta última estación. Esto

parece indicar que los datos de la Estación Cagigal están bien y que los cambios sinópticos ocurridos en ella, también fueron sensibles a las estaciones cercanas.

Se observa que las distribuciones húmedas, secas y medias son muy parecidas en el año, salvando la magnitud de sus valores. Esto implica que en el promedio, los años húmedos tienen excesos de precipitación uniformemente distribuidas en el año y no agrupándose sus totales de exceso en pocos eventos o meses, igualmente ocurre lo mismo para los años secos.

## 9. CURVAS DE MASA ACUMULADA DE LA PRECIPITACION

Para estudios climatológicos en la región de Caracas, se recomienda ajustar los períodos cortos de los registros de precipitación, en base al presente análisis de curva de masa de la Estación Cagigal, para aprovechar así los 99 años de registros de dicha estación. Se recomienda la verificación de la homogeneidad climatológica de la región vecina a estudiar.

Para ajuste de períodos cortos o largos utilizando la curva de masa acumulada de Cagigal, se podría utilizar la expresión:

$$X_L = \frac{X_C}{1 + \frac{d_f - d_0}{D_C} / 100} = \frac{X_C}{1 + f / 100}$$

$$f = \frac{d_f - d_0}{D_C}$$

Donde:

$X_L$  = Media ajustada al período 1981/1989

$X_C$  = Media del período corto de la estación que se desea ajustar.

$d_f$  = Desviación acumulada en % del último año del período corto.

$d_0$  = Desviación acumulada en % del año anterior al año inicial.

$D_C$  = Número de año del período corto.

## 10. DISTRIBUCION DE EXTREMOS (GUMBEL)

Los ajustes se realizaron para las series de 99 valores de máximos mensuales en el año, en la temporada de lluvia y la serie anual de máximos (ver Gráfico 3.7.1).

A continuación se presentan los estadísticos de la serie:

$$\text{Máx. Anual} \left[ \begin{array}{l} X = 170 \\ r = 44.6 \\ CV = 0.26 \end{array} \right.$$

$$\text{Temporada Fluviosa} \left[ \begin{array}{l} X = 168 \\ r = 44.5 \\ CV = 0.26 \end{array} \right.$$

## 11. CONCLUSIONES

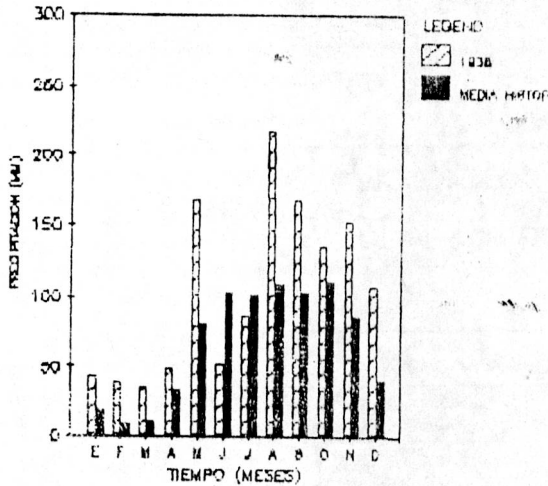
Como resultado del Estudio "ANALISIS DE LA PRECIPITACION EN CARACAS (ESTACION OBSERVATORIO CAGIGAL)", se puede concluir que:

- Se analizaron 99 años (1891-1989) correspondientes a la precipitación mensual de la Estación Observatorio Cagigal.
- El 80% de la precipitación anual corresponde entre los meses Mayo-Noviembre.
- Entre los meses de Mayo-Noviembre los coeficientes de variación son menores que 0,60, lo que indica que durante esos meses son frecuentes las precipitaciones, manteniéndose los totales mensuales con poca variación, lo cual indica presencia de la temporada de lluvia y los sesgos son menores que uno (1), esto significa que los valores son cercanos a la media.
- Entre los meses de Diciembre-Abril los coeficientes de variación están por encima de 0,80, lo que indica que hay gran variabilidad en la precipitación y los sesgos son mayores que uno (1), lo que implica que hay situaciones ocasionales o especiales.
- El año más seco fué 1914 y el más húmedo en 1938 con precipitaciones de 459 mm. y 1269 mm., respectivamente.
- La precipitación media anual para el período de registro 1891-1989, se comporta de una forma unimodal con un máximo de 110 mm. entre los meses de Agosto y Octubre, con un mínimo de 11 mm. entre Febrero y Marzo.
- Las precipitaciones mensuales de mayor magnitud ocurridas durante el período de estudio son las siguientes:

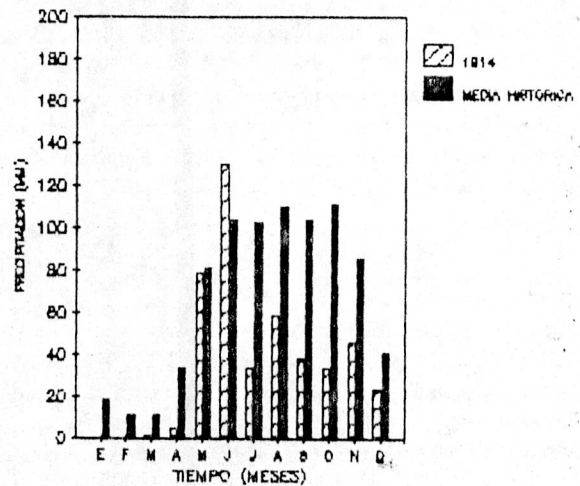
327 mm. en Octubre de 1954  
261 mm. en Junio de 1952  
224 mm. en Febrero de 1951

- Los datos anuales se presentan como una distribución normal con media de 827 mm, desviación estandar de 178 mm. y un coeficiente de variación de 0.21.
- El 70% de los valores de precipitación se encuentran en el rango de  $X \pm r$ , es decir, entre 1005 y 649 mm y el 13% a años húmedos por encima de  $X + r$  y el 17% años secos por debajo de  $X - r$ .
- En el Gráfico de Distribución de la Precipitación Acumulada (Gráfico 3.5.3), se puede observar que las tendencias de las curvas son similares durante el período, salvando la magnitud de sus valores, años húmedos o secos tienen excesos o déficit de precipitación uniformemente distribuidas y no agrupando sus totales de exceso o déficit en pocos eventos extremos.

OBSERVATORIO CAGIGAL  
PRECIPITACION DEL AÑO 1938

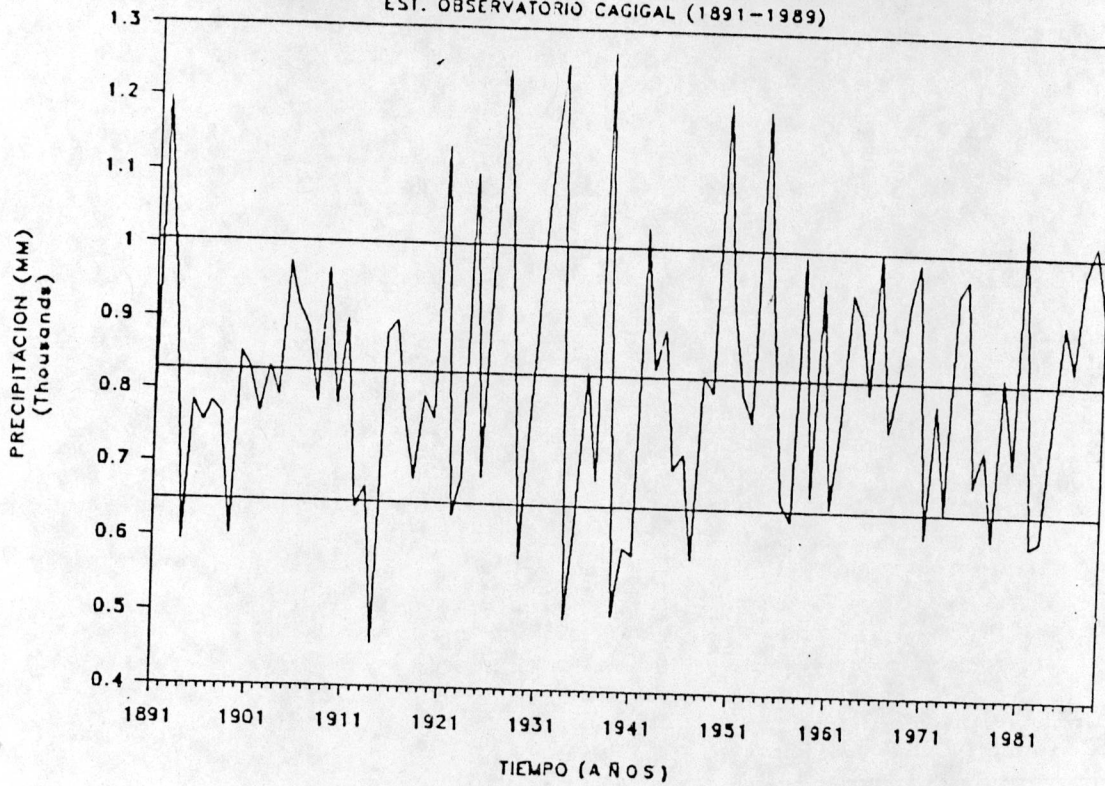


ESTACION OBSERVATORIO CAGIGAL  
PRECIPITACION DEL AÑO 1914

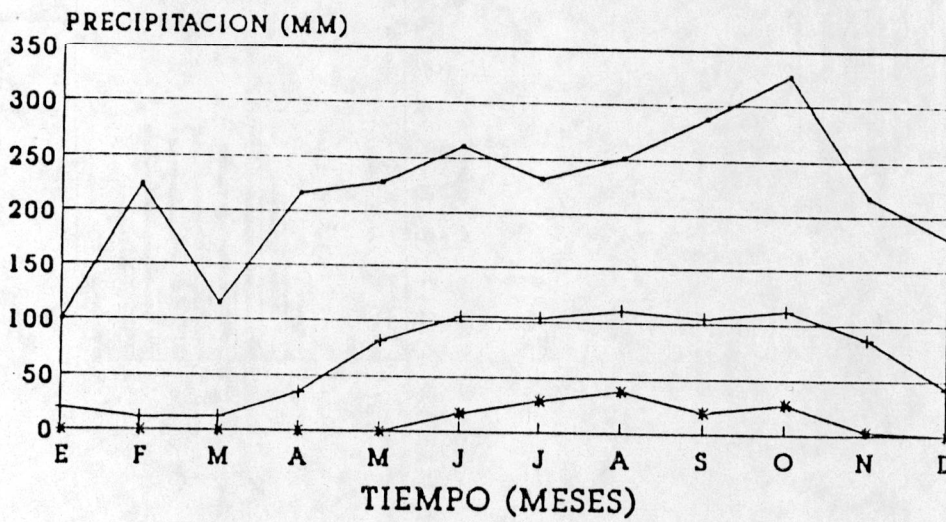


PRECIPITACION ANUAL HISTORICA

EST. OBSERVATORIO CAGIGAL (1891-1989)



OBSERVATORIO CAGIGAL  
PRECIPITACION ANUAL(1891-1989)



Series 1    Series 2    Series 3  
 MAXIMA    MEDIA    MINIMA

# OBSERVATORIO CAGIGAL

## DIST. TEMPORAL DE LA PRECIP.(1891-1989)

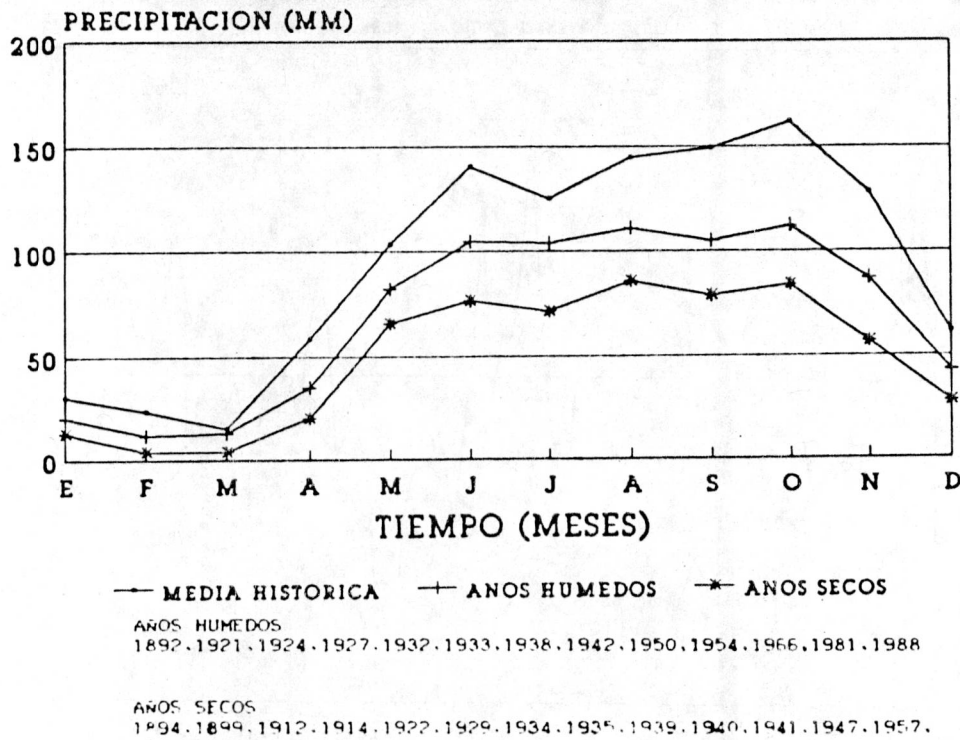


GRAFICO 3.7.1

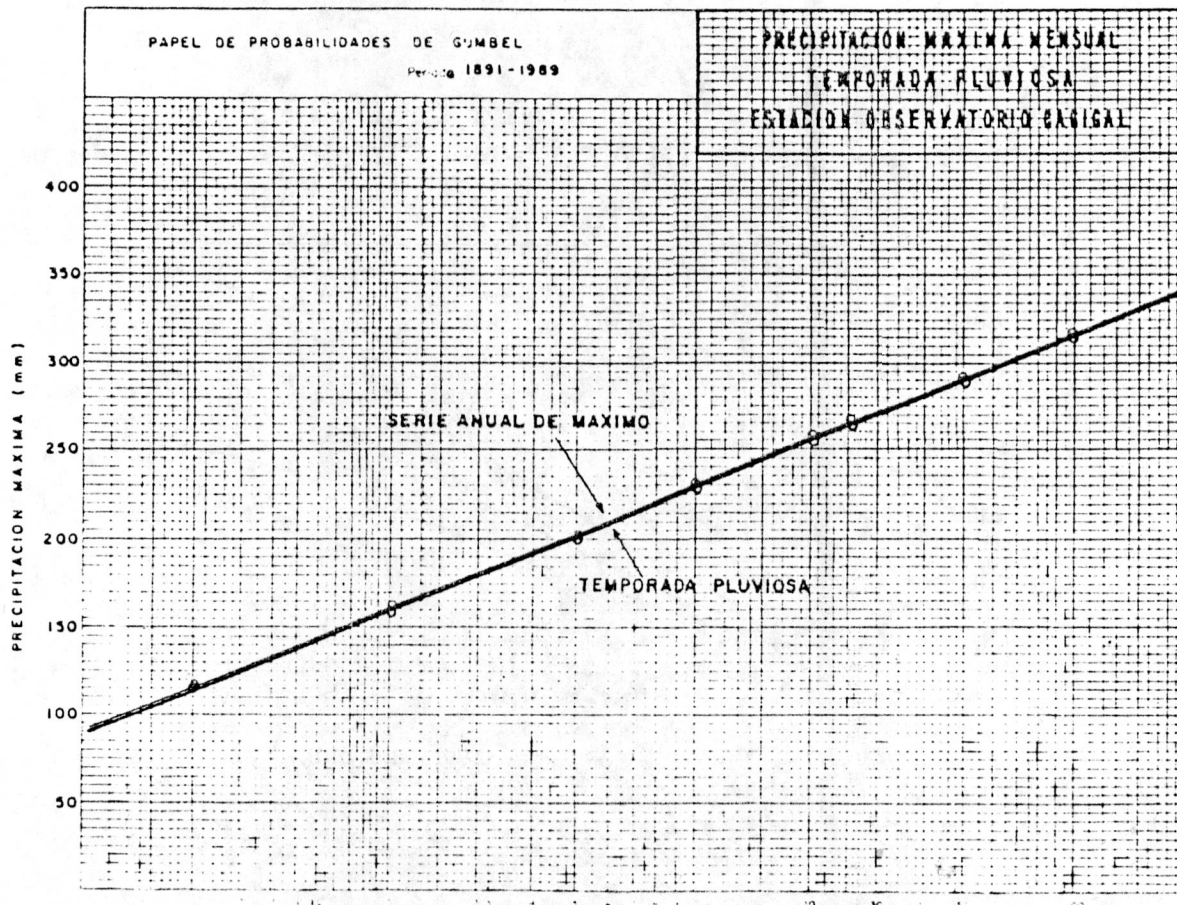


GRAFICO 3.6

### CURVA DE MASA ACUMULADA (PRECIPITACION)

EST. OBSERVATORIO CAGIGAL (1891-1989)

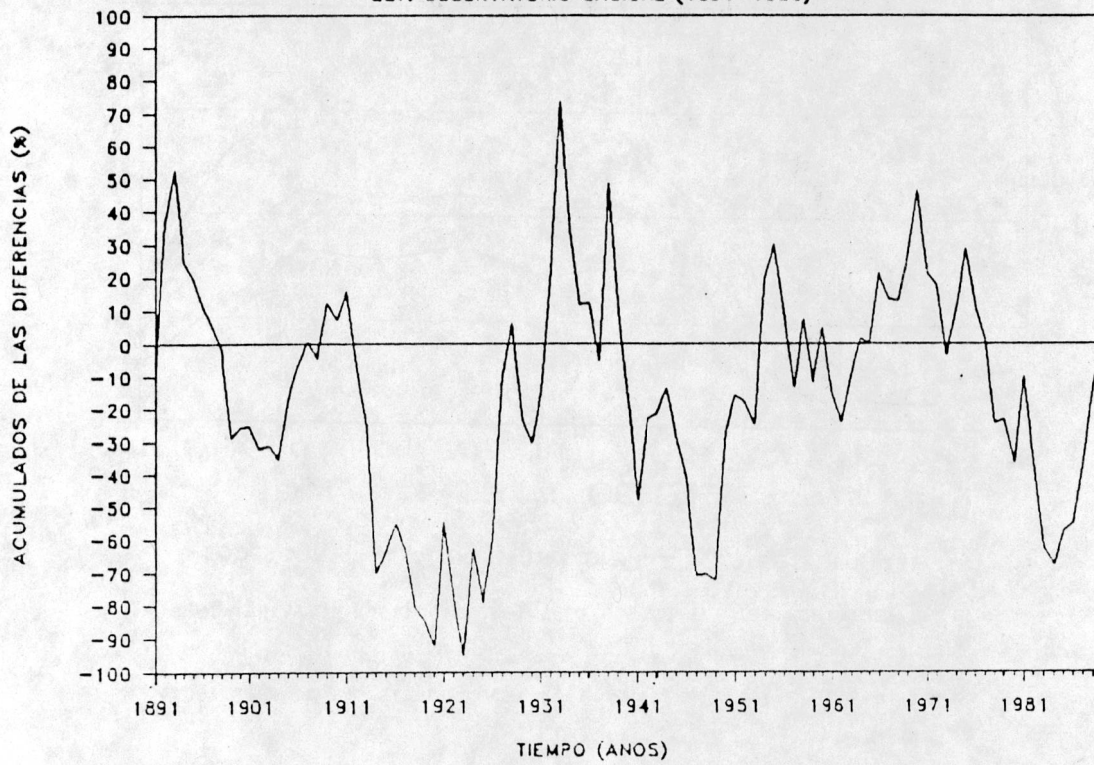
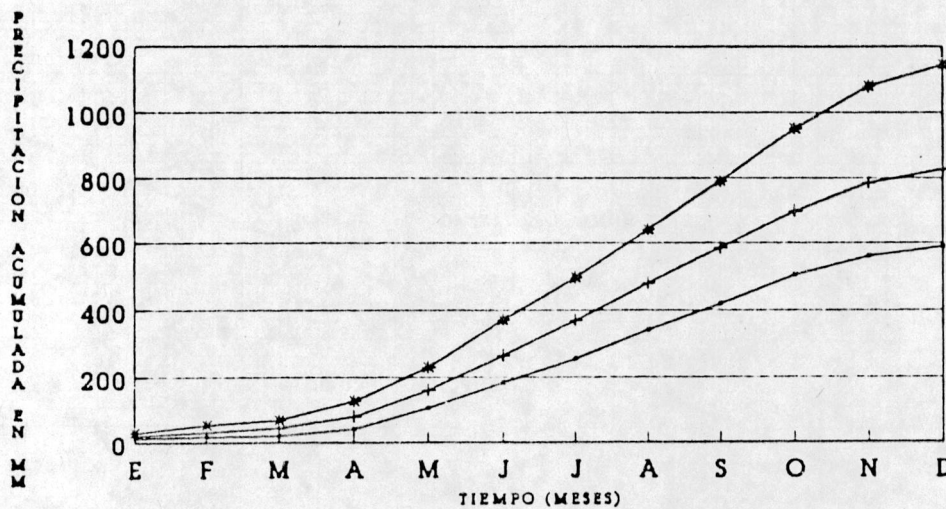


GRAFICO 3.5.3

### DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION ACUMULADA EN EL AÑO



— AÑO TIPICO SECO                      + MEDIA HISTORICA  
 \* AÑO TIPICO HUMEDO

Tema: 1: Obtención de Datos

DAVID PEREZ HERNANDEZ \*

FRANK MEADER \*\*

UN BOTE PRACTICO PARA MEDICIONES  
HIDROLOGICAS EN GRANDES RIOS

(\*) Asesor de la Dirección de Hidrología y Meteorología. Tlf. 408-19-44, FAX (02) - 545-06-07 Profesor de la Facultad de Ingeniería U.C.V.

(\*\*) Estudiante pasante. Proyecto MARNR-GTZ. DHM-RODECO. Universidad de Friburgo. Alemania

## UN BOTE PRACTICO PARA MEDICIONES HIDROLOGICAS EN GRANDES RIOS

Los problemas prácticos relacionados con las mediciones hidrológicas en los grandes ríos del mundo, distan mucho de estar completamente resueltos y aun cuando en los últimos años se ha avanzado notablemente en el mejoramiento y diseño de los equipos e instrumentos, subsisten aún aspectos relacionados con la operatividad de los medios de movilización que deben ser resueltos, especialmente cuando se trabaja en tramos fluviales distantes de los centros poblados y se procura realizar numerosas mediciones siguiendo el esquema de compañías hidrológicas.

Se conoce y se han tenido experiencias de utilizar botes y gabarras equipadas con todo el instrumental para practicar mediciones hidrológicas, así como realizar la preparación y tratamiento de las muestras de sedimentos y aguas (Duida en el Orinoco, Alpha Helix en el Amazonas), los cuales resultan en elevados costos operativos y estas embarcaciones presentan limitaciones para operar en ríos con rápidos y accidentes fluviales, como ocurre en el Alto Orinoco que restringen la navegación y además precisan de sofisticados y costosos sistemas de posicionamiento.

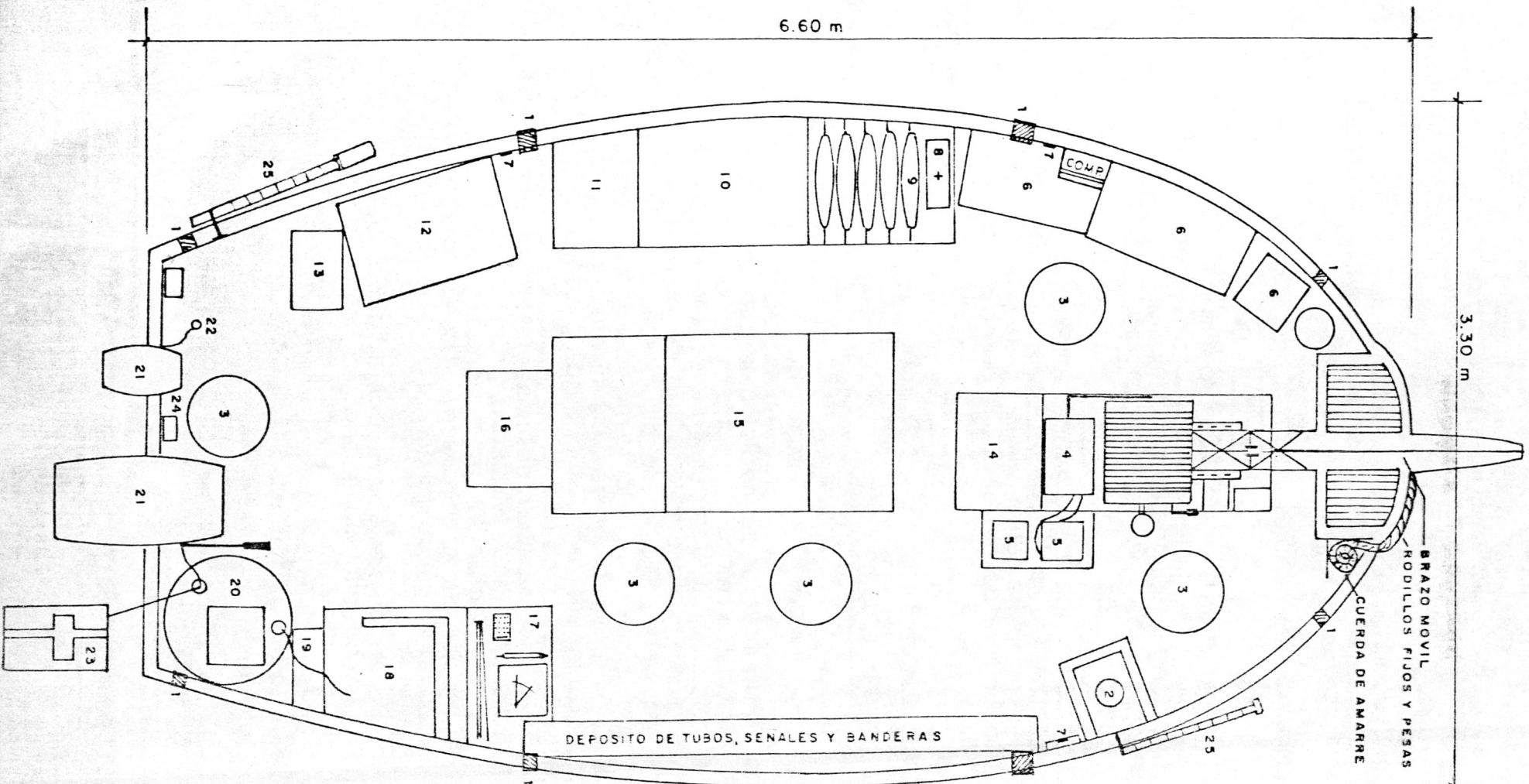
De otra parte los botes fluviales livianos equipados con los sistemas convencionales de medición, no poseen la capacidad y autonomía suficientes como para operar en los grandes ríos, ya que no permiten una alta capacidad de carga, son inestables ante la acción del viento o del flujo y su posicionamiento y estabilidad se dificulta en ríos con altas velocidades, todo lo cual les hace poco operativos.

Ultimamente la Dirección de Hidrología y Meteorología, ha acondicionado una lancha fluvial para realizar mediciones en el Río Orinoco, cuyas variantes y modificaciones aquí propuestas, permitirían realizar las mediciones con más eficacia que las actuales y a costos relativamente bajos.

### 1. DESCRIPCION DE LA LANCHA FLUVIAL DEL MARNR

El bote utilizado por la Dirección de Hidrología y Meteorología, es un bote convencional de fondo plano y quilla triangular fabricado con fibra de vidrio de dimensiones 6,6 m de largo y 3 m de ancho, accionada por un motor fuera de borda. Este se utiliza como medio de desplazamiento y base para instalar los equipos que consisten en un winche hidráulico ó eléctrico. Este último de uso más común, tiene una fuente de potencia generada por baterías de corriente directa con 24 V, posee tambor y cableado para sondeos hasta de 50 m de profundidad. El permite suspender mediante la guaya de 4 mm de diámetro un peso de 500 lbs que consiste en la pesa, correntímetro y botella colapsible, se dispone además de ecosonda, equipos topográficos, sextante para posicionamiento y depósitos para respuestos y muestras.

Dentro de las ventajas ofrecidas por el bote pueden mencionarse las siguientes:



- 1 SOPORTES PARA FIJAR TECHO
- 2 ECOSONDA
- 3 SILLAS ROTATIVAS
- 4 MOTOR WINCHE
- 5 BATERIAS 12 V
- 6 LABORATORIO CON GAVETAS-COMPUTADORA
- 7 ENCHUFES
- 8 PRIMEROS AUXILIOS
- 9 SALVAVIDAS, COLCHONETAS
- 10 EQUIPAJE, HAMACAS
- 11 COCINA Y ALIMENTOS
- 12 DEPOSITO DE TECHO Y BOTE INFABLE
- 13 REPUESTOS DE MOTOR Y ACCESORIOS DE LIMPIEZA
- 14 DEPOSITO DE HERRAMIENTAS Y REPUESTOS
- 15 MESA DE TRABAJO Y DEP. DE ALIMENTOS, AGUA Y EQUIPAJE
- 16 RADIO Y ANTENAS
- 17 INSTRUMENTAL OPTICOS, SEXTANTE, MACHETES, TEODOLITOS
- 18 PLANTA ELECTRICA (12V)
- 19 DEPÓSITO DE ACEITE
- 20 DEP. COMBUSTIBLE (100 L.)
- 21 MOTORES
- 22 TANQUE PEQUEÑO
- 23 SISTEMA DE SEGURIDAD EN RECIPIENTE DE COMBUSTIBLE
- 24 FARO PARA DESPLAZAMIENTO NOCTURNO
- 25 TRANSDUCER (COLOCACION ALTERNA)

GRAFICO Nº 1  
DISTRIBUCION DE EQUIPO  
EN EL BOTE FLUVIAL PROPUESTO  
PARA MEDICIONES EN RIOS GRANDES

1. Puede ser movilizado y transportado fácilmente a través de rutas terrestres mediante trailers y dispuesto en los tramos fluviales de interés, lo que permite salvar obstáculos y raudales, tales como los de Ature-Maipures que representan un serio escollo para barcos de mayor calado.
2. Permite eficiente movilidad fluvial con una tripulación de cinco operadores a un costo relativamente bajo, debido al consumo de combustible y al uso de motores convencionales.
3. Facilita el acceso a tributarios menores que no pueden ser navegables en botes de mayor calado.
4. Es estable, resistente, maniobrable y más seguro que el lanchón utilizado en las primeras mediciones de nuestros grandes ríos, pudiéndose acondicionar para permitir a la tripulación, pernoctar a campo abierto durante los programas de aforos.

Algunas modificaciones deben ser sin embargo realizadas en el bote, para facilitar las operaciones de campo, especialmente en lo relativo a la distribución del equipamiento, suministro de energía y especialmente en las modificaciones del brazo-soporte del ensamblaje de los instrumentos de medición.

## 2. CAMBIOS PROPUESTOS Y REDISEÑO

El gráfico N° 1 muestra la distribución recomendada para los equipos, fuente de energía, áreas de depósito y localización de los elementos de apoyo para facilitar las mediciones. Consideramos que de todas ellas, la más importante es la relacionada con la modificación del brazo rígido de sustentación de los instrumentos de medición, lo que actualmente hace poco práctico e inseguro la maniobrabilidad del ensamblaje de los equipos, así como su instalación. Ello se debe a la condición rígida del brazo, lo que determina que tanto la colocación de los instrumentos como el retiro de muestras y ensamblaje de los equipos, debe hacerse en la parte externa del bote, lo que hace difícil la manipulación y la seguridad del operario. Utilizando un brazo con desplazamiento angular en un sentido vertical, operado mediante un winche apropiado con doble polea como se muestra en el gráfico N° 2, la operación de maniobrar con el ensamblaje correntímetro-pesa-muestreador, se puede hacer dentro del bote con mayor seguridad, estabilidad y rapidéz, siendo más fácil la instalación de los equipos especialmente cuando las riberas están cubiertas de densa vegetación ó los bancos son verticales, condiciones comunes en aguas altas, lo que exige operar con las pesas de 300 lbs.

El transducer de la ecosonda se puede ubicar en forma alterna, al frente del bote ó en la parte posterior permitiendo así una mayor seguridad del mismo, cuando se realicen levantamientos en tramos rocosos o ríos poco profundos. Un diagrama del soporte y fijación del mismo al cuerpo del bote, se muestra a continuación con diferentes vistas (gráfico N° 3).

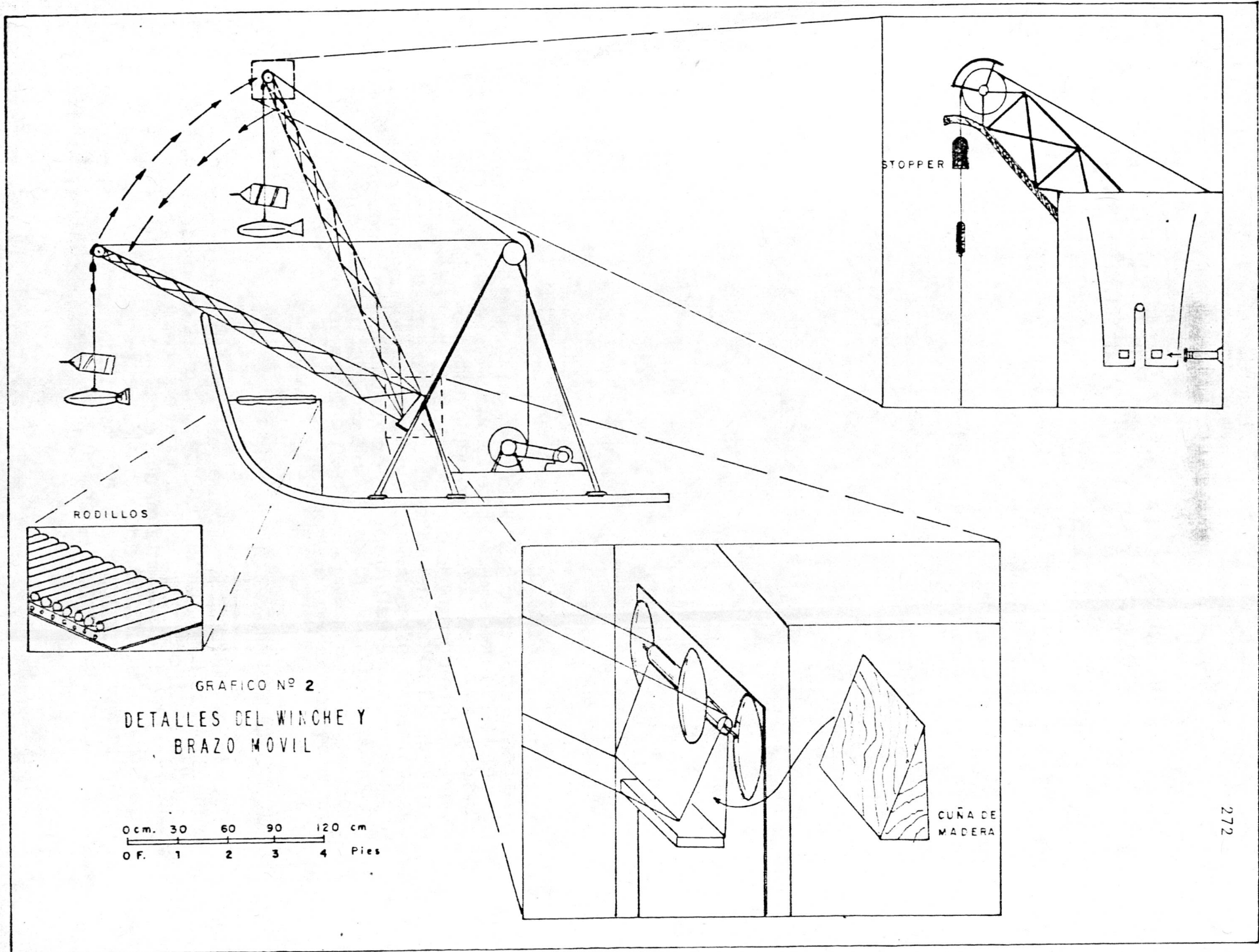
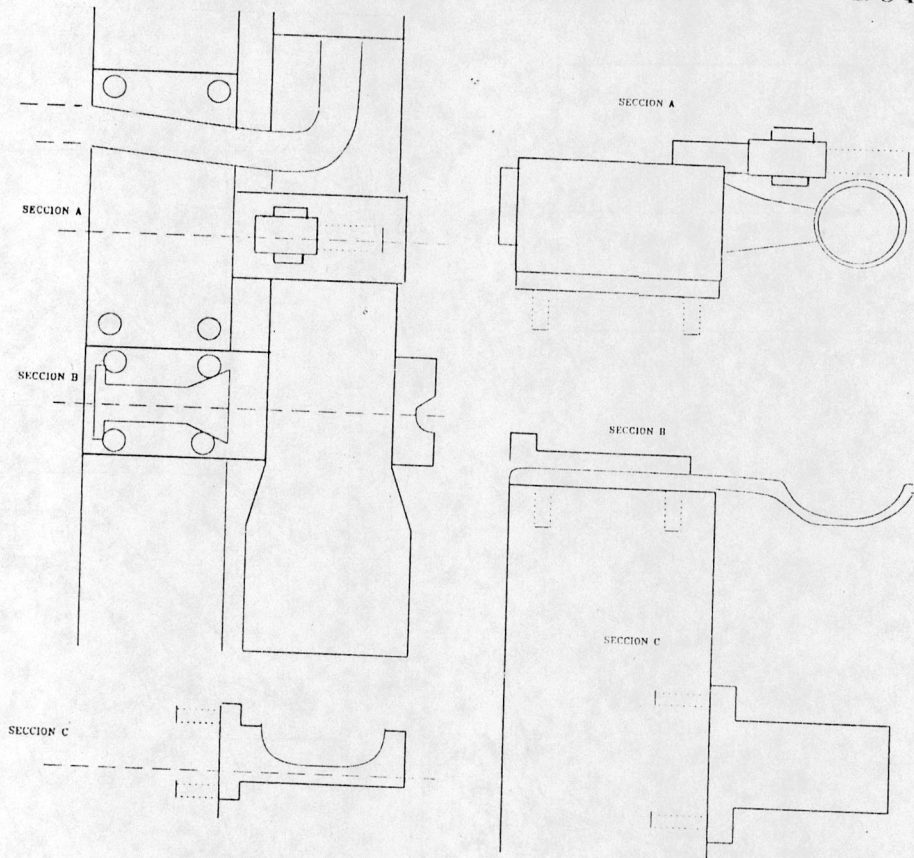


GRAFICO Nº 2  
 DETALLES DEL WINCHE Y  
 BRAZO MOVIL

0cm. 30 60 90 120 cm  
 0 F. 1 2 3 4 Pies

### A) DIFERENTES VISTAS DEL TRANSDUCER DE LA ECOSONDA Y SU LOCALIZACION EN EL BOTE



Se ha pensado en la posibilidad de desplazar el brazo en un plano horizontal ( $180^\circ$ ), pero ello daría menor estabilidad al bote al producirse la rotación del sistema y crear un momento respecto al eje longitudinal del mismo, de tal modo que la primera opción se ha considerado como la más apropiada. Para mejorar el alineamiento y la estabilidad del bote, así como reducir los movimientos producidos por las corrientes en un sentido lateral, se sugiere disponer catamaranes laterales de diseño hidrodinámico a ambos lados del bote provistos de aletas direccionales. Estos pueden ser emplazados solo en la etapa de medición y retirados cuando se practique la navegación.

### AUTONOMIA Y MOVILIZACION DEL BOTE

Con las modificaciones propuestas y una apropiada dotación de combustible, se daría suficiente autonomía a la lancha para realizar largos recorridos, practicándose mediciones en extensos tramos fluviales y al pernoctar en estaciones intermedias a campo abierto, se agilizarían las prácticas de medición y reducirían los costos operativos. Ello es de importancia en regiones donde no existen campamentos o bases tal como ocurre en largos tramos fluviales del Alto Orinoco y sus

tributarios. Las experiencias de mediciones recientes en el Río Orinoco, <sup>274</sup> han probado que una lancha fluvial como la del MARNR, con una ampliación en su superficie y un apropiado equipamiento como el propuesto, simplificaría notablemente el trabajo de campo.

#### COSTOS Y FACILIDADES DE CONSTRUCCION

Un bote como el propuesto resolvería los problemas de un elevado costo y el de desadaptación de los existentes en el mercado para medir en los grandes ríos del continente, lográndose construirlo en Venezuela y lograr suplirlo a otros países de la región. El costo actual de un bote con estas características es de 3000 \$ (Marzo 1992), sin incluir los instrumentos y equipos que representan realmente la inversión mas elevada.

Tema: 2.1: Situación actual de los Recursos Clima, Agua y Tierra

DAVID PEREZ HERNANDEZ \*

MEDICIONES HIDROLOGICAS  
CONJUNTAS COLOMBO-VENEZOLANAS  
EN EL RIO ORINOCO

(\*) Asesor de la Dirección de Hidrología y Meteorología. Tlf. 408-19-44, FAX (02) - 545-06-07 Profesor de la Facultad de Ingeniería U.C.V.

**MEDICIONES HIDROLOGICAS CONJUNTAS COLOMBO-VENEZOLANAS  
EN EL RIO ORINOCO**

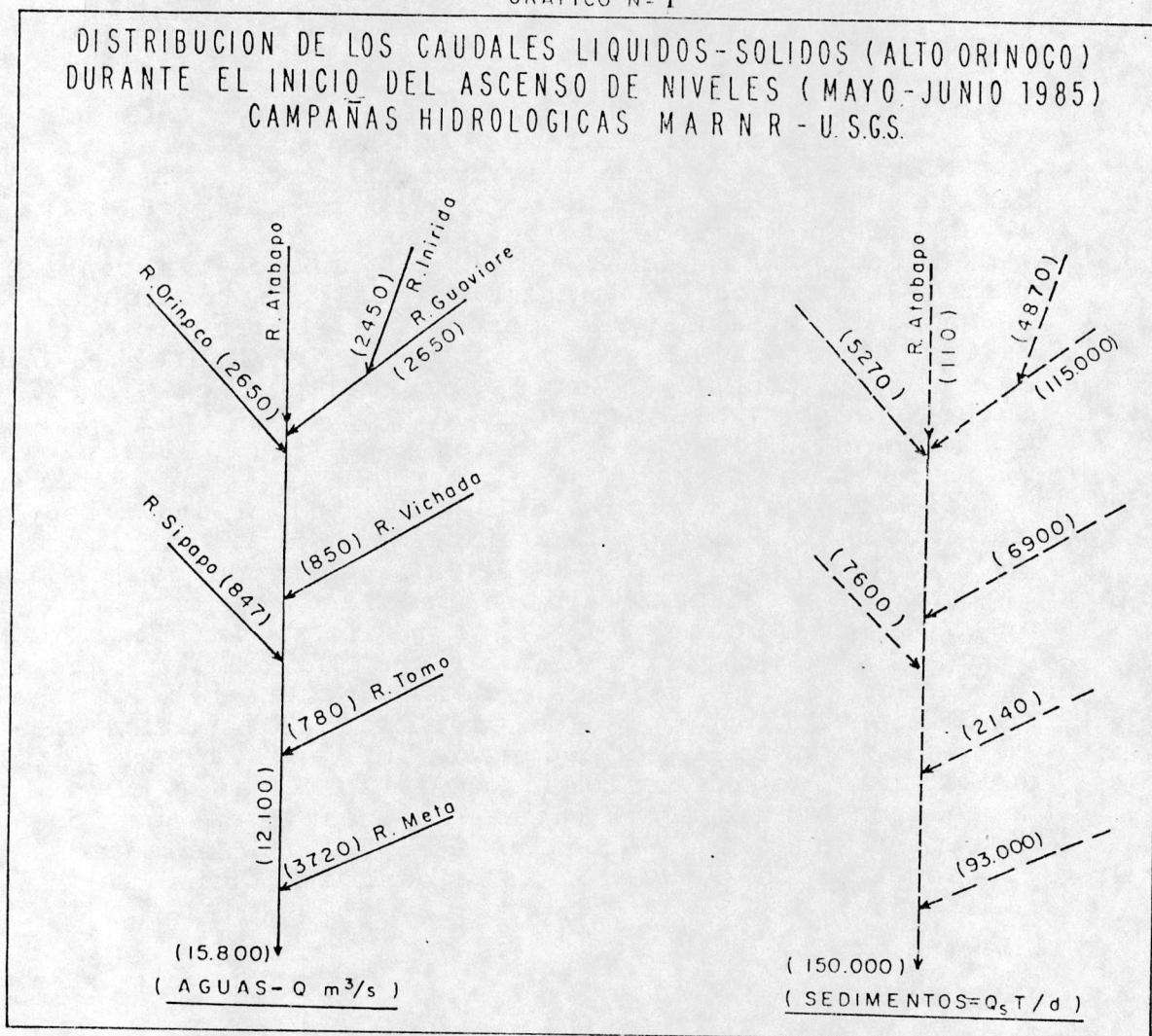
**1. INTRODUCCION**

Dentro de las proposiciones y acuerdos de la Comisión Binacional Colombo-Venezolana, relativas a las actividades conjuntas a desarrollar entre ambos países a partir de 1991, caben destacar las relativas al levantamiento de información sobre caudales sólido-líquidos y de la calidad de aguas, en un conjunto de tributarios y el mismo Río Orinoco en el tramo fluvial comprendido entre San Fernando de Atabapo y la desembocadura del Río Meta. Las tareas de campo han sido iniciadas a partir de 1991 en cooperación con Dependencias de Colombia como la Empresa Interconexión Eléctrica S.A. (I.S.A), el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT), así como por EDELCA y la Dirección de Hidrología y Meteorología del MARNR. El programa representa una continuidad de los trabajos iniciados a partir de marzo de 1982 por parte del MARNR en colaboración con el USGS de Estados Unidos, que permitió mejorar el conocimiento de numerosos aspectos del tramo medio e inferior del río Orinoco y al incorporar a estos nuevos sectores a los programas de mediciones, se contribuye a ampliar el conocimiento hidrológico del río, lo que es importante para la fundamentación de proyectos de aprovechamiento y de desarrollo de los recursos hídricos, tales como los de navegación, hidroelectricidad, suministro de agua con fines múltiples, además de aquellas actividades orientadas hacia la conservación de las aguas y otros recursos naturales de las cuencas.

**2. ANTECEDENTES**

En el pasado hidrólogos de Colombia como de Venezuela, han practicado mediciones hidrológicas y sedimentológicas en forma separada en los ríos de su interés. En 1982 un equipo conjunto de hidrólogos venezolanos y del USGS de Estados Unidos, iniciamos las mediciones con un enfoque y objetivos diferentes a los rutinarios de medir ocasional y esporádicamente en estaciones fijas. Entonces se contemplaron mediciones en numerosos contribuyentes del Orinoco y entre ellos los provenientes de Colombia para lo cual se conto con la participación de hidrólogos del HIMAT (1985). En ambas ocasiones, se utilizó un esquema Lagrangeano para realizar las mediciones y los resultados correspondientes al inicio del período de subida de los niveles en los ríos para entonces se muestra se muestra en el gráfico No 1.

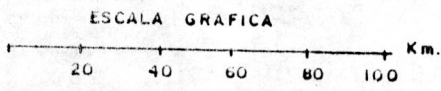
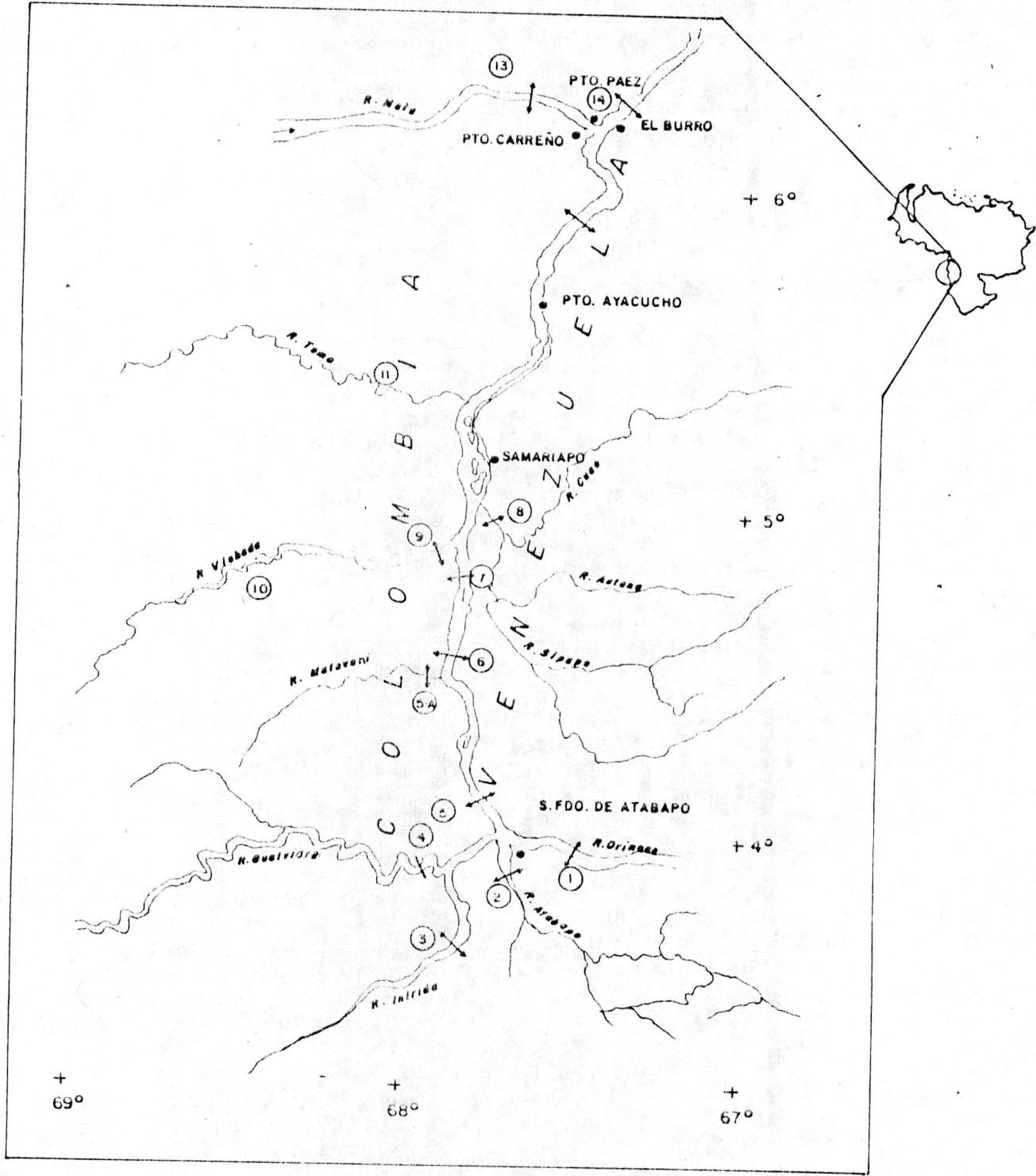
GRAFICO Nº 1



A partir de 1991, se reactivan de nuevo las mediciones conjuntas, procurándose tentativamente la realización de las Campañas bajo condiciones especiales del régimen hidrológico de los ríos; los datos obtenidos en esta fase consisten de mediciones de caudales sólido-líquidos, identificación de las propiedades de los sedimentos del lecho y suspendidos, levantamientos batimétricos de secciones y formas de fondo, establecimiento de puntos y miras permanentes de referencia de niveles con posicionamiento geodésico, usando técnicas satelitarias y finalmente aspectos relativos a las condiciones físico-químicas de las aguas y limnología que contemplan mediciones de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DO, análisis de sílice, fosfatos, alcalinidad, dureza y cloruros.

MAPA N° 1

EL TRAMO FLUVIAL SAN FDO. ATABAPO - RIO META  
CON INDICACION DE LOS SITIOS DE MEDICION DE CAUDALES SOLIDO - LIQUIDOS



La tabla No. 1 presenta un resumen de los resultados obtenidos durante una campaña típica realizada entre Noviembre-Diciembre de 1991. El gráfico No 2 muestra los análisis granulométricos tanto del sedimento suspendido como de los materiales del lecho en estaciones representativas, seguido de datos batimétricos sobre las secciones longitudinales y formas del lecho en la sección de aforo, correspondiente a Bachaquito, aguas abajo de Puerto Ayacucho. Esta información es sistemáticamente registrada en todas las secciones de interés y permitirá hacer una evaluación integral de estos aspectos, al disponerse de un conjunto de mediciones que representan las diversas condiciones del régimen fluvial.

### 3. DESCRIPCION GENERAL DEL TRAMO

El tramo fluvial de interés está comprendido entre  $3^{\circ}30'$ - $6^{\circ}30'$  de latitud Norte, abarcando un tramo comprendido entre el nudo hidrográfico que conforma la unión de los Ríos Orinoco-Atabapo-Guaviare, siguiendo hacia el Norte con el Mataveni, Vichada y Tomo procedente de los llanos colombianos, además del Río Sipapo por su margen derecha que pertenece a Venezuela y el cual contribuye al río Orinoco frente a Isla Raton, próxima a los raudales de Maipures. El mapa No. 1, muestra este conjunto de ríos así como los sitios objeto de medición.

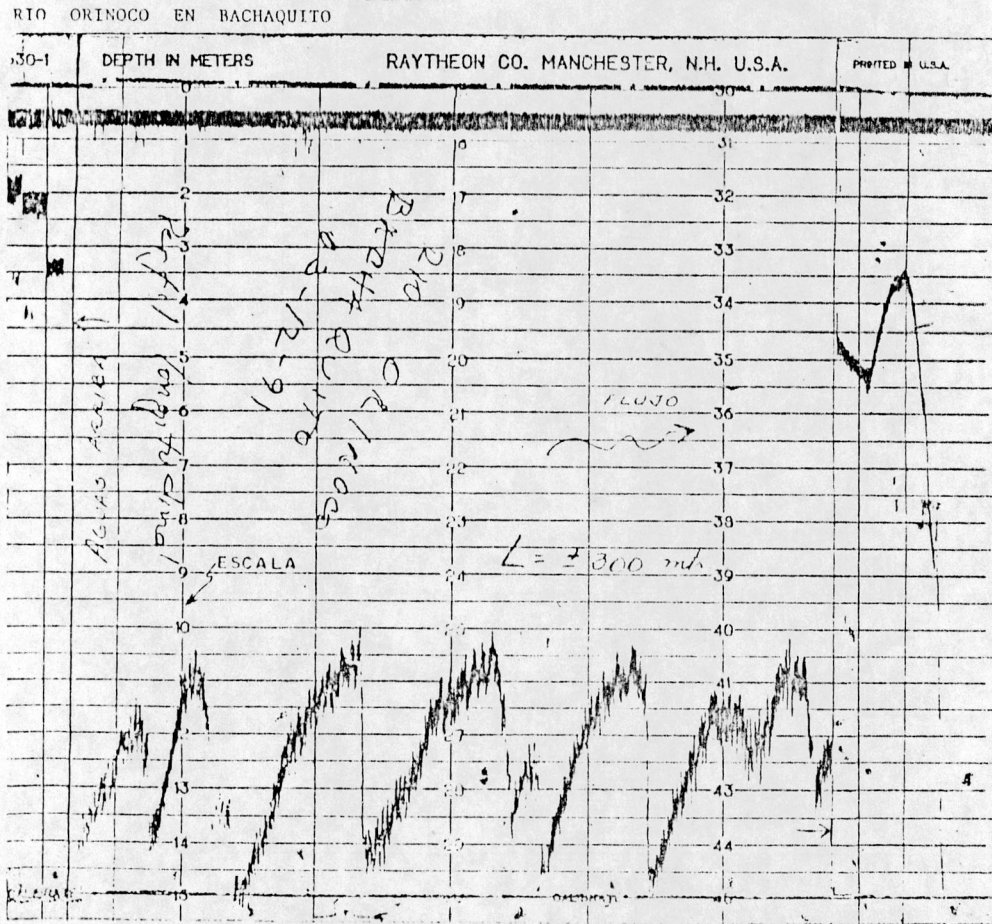
Existen grandes contrastes en el tipo de relieve, la Geología y el régimen pluviométrico entre las tierras del Escudo Guayanés en el Territorio Venezolano y las llanuras Colombianas y ello determina un diferente comportamiento tanto en el rendimiento líquido como en el suministro sólido, así como en el carácter de los materiales aportados. Ello determina adicionalmente, se originen notables procesos evolutivos y cambios morfológicos tanto en el canal del río Orinoco, como en las planicies fluviales.

En este tramo el río Orinoco corre sobre el borde del Cratón Igneo-metamórfico de gran estabilidad geológica, existiendo un limitado número de tributarios dentro de los cuales destaca el Río Sipapo formado por los ríos Autana y Cuao, en contraste con los más numerosos que cruzan los llanos de Colombia como el Inirida, Guaviare, Tomo y Meta que han impulsado al Río Orinoco a desplazarse y mantenerse en ese borde estable. Estos ríos al aportar materiales sólidos y disectar sedimentos no consolidados, tienen en su mayoría una dinámica fluvial muy activa, reflejada en cambios en la orientación de los canales, desarrollo de cortes y estrangulamientos, migración lateral, modificación en los patrones de drenaje y formación de áreas depresivas marginales a los cauces, con almacenamiento de aguas en la época lluviosa, que se mantienen durante extensos lapsos de la época seca, condicionando una alta saturación de los suelos y creando un complejo sistema de drenaje.

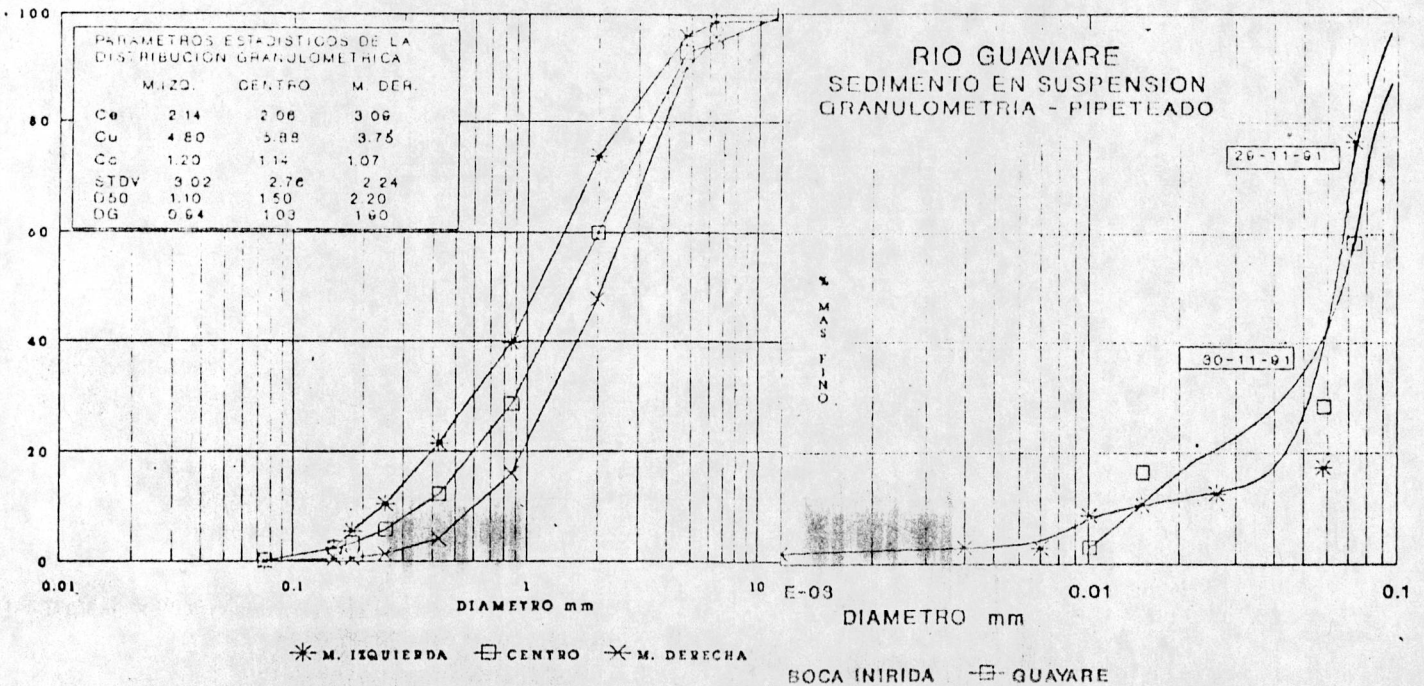
RESUMEN PRELIMINAR DE LAS MEDICIONES DE CAUDALES SOLIDOS Y LIQUIDOS EN LAS SECCIONES INDICADAS.

RIO	ESTACION	FECHA	MIRA (m)	ANCHO (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	VEL. MEDIA (m/Seg.)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /Seg.)	CONC (PPM)	Qs (TON/D)
META	CARACARAS	04-12-91		470,00	2.771	0.48	2.841	350	85.912
SIPAPO	RAUDAL CALDERAS	02-12-91		306,00	1.250	0.44	545	10	470
ORINOCO	CANO MASAGUA	28-11-91	58.59	681,00	3.470	0.60	2.097	44	7.972
GUAVIARE	As. ARR. INIRIDA	20-11-91	5.77	565,00	2.943	1.15	3.112	275	7.394
GUAVIARE	GUAYARE	30-11-91	7.47	950,00	5.526	0.71	3.947	94	32.056
INIRIDA	ALMIDON	29-11-91	5.67	440,00	3.734	0.48	1.791	16	2.476
ORINOCO	GUAYAGUAYARE	28-11-91	58.59	985,00	10.904	0.75	8.199	135	95.633
ORINOCO	PTO. NUEVO	04-12-91		1021,00	19.131	0.71	13.634	82	96.594
ORINOCO	BUENA VISTA	01-12-91		792,00	15.177	0.57	8.958	72	55.726
ORINOCO	BACHARUITO	03-12-91	7.10	2377,00	13.422	0.75	10.067	103	89.588
ATABAPO	LAJA DE GRANITO	29-11-91	6.96	342,00	1.658	0.28	467	10	403
TOMO	POQUE. NACIONAL	02-12-91	5.15	461,00	1.508	0.93	1.403	20	2.224
VICHADA	STA. RITA	01-12-91	4.42	210,00	1.696	0.80	1.355	18	2.439
VICHADA	BOCA	01-12-91	4.42	260,00	1.346	0.99	1.332	22	2.532

PERFIL LONGITUDINAL DEL SITIO ABAJO INDICADO



RIO SIPAPO EN RAUDAL CALDERO (01-12-91)  
GRANULOMETRIA - MATERIAL DE LECHO



Los ríos que derivan el Escudo, presentan un eje de drenaje sub-paralelo al cauce del Río Orinoco y muestran basicamente el control de las estructuras geológicas como geofracturas y afloramientos rocosos del basamento. Esta región presenta mayores rendimientos líquidos en respuesta a la mayor precipitación y carácter cristalino de las rocas, por contraste, no tienen el rendimiento de sedimentos de ríos como el Guaviare y Meta, que descendiendo de la Cordillera de los Andes conformadas por rocas más erosionables y los propios llanos, generán un mayor suministro de sólidos.

Razones geológico-estructurales locales, han determinado se desarrolle la unión de tres grandes tributarios justo donde el río Orinoco se encuentra con las tierras más inestables de los llanos. Allí convergen además, los ríos Atabapo y Guaviare, este último se forma de la unión relativamente cercana de su ramal superior con el río Inirida formándose una estructura de la red de drenaje compleja y curiosa, no solo por que allí convergen distintos flujos líquido-sólidos con propiedades de las aguas y sedimentos muy específicas de cada uno de los ríos, sino también al reconocer su significado como proceso geomorfo-fluvial\*, en grandes ríos, tan conspicuo como es el caso de la bifurcación del Casiquiare existente en la misma región del Alto Orinoco.

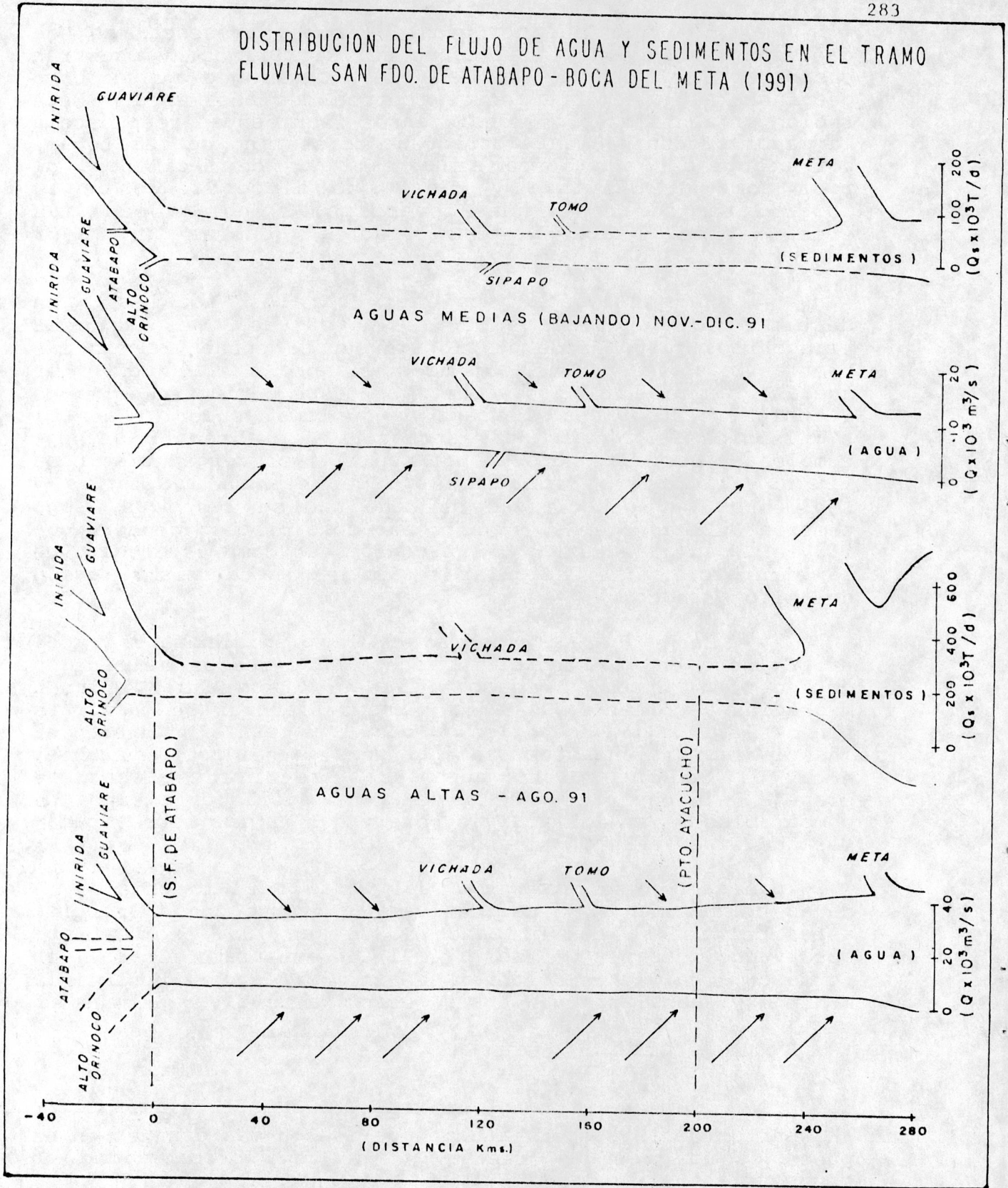
En el borde y dentro de la planicie fluvial del río Orinoco en el Territorio Venezolano, restos de canales con depósitos de arenas silíceas dispersas, indican migración y cortes de canales. Estos sectores se mantienen sin desarrollo de vegetación boscosa como es la condición de las tierras circundantes, como un reflejo del pobre carácter edáfico. Se interpreta que éstas re-orientaciones del drenaje han ocurrido en escalas geológicas de tiempo, no comparables a las más activas observadas en los ríos y canales que atraviezan las llanuras de Colombia.

Los cambios morfológicos del canal del Río Orinoco no dejan de ser menos significativas. Durante una inspección aérea del autor con R. Meade (USGS) en 1990, comprobamos observando imágenes de radar (1971) de ese tramo fluvial, la forma como en muchos sectores se han modificado sustancialmente y canales que antes eran activos, permanecen

---

\*El patron definido por la unión de tres ó más canales en un punto de una red de drenaje, tiene baja probabilidad de ocurrencia en la naturaleza.

DISTRIBUCION DEL FLUJO DE AGUA Y SEDIMENTOS EN EL TRAMO FLUVIAL SAN FDO. DE ATABAPO - BOCA DEL META (1991)



obstruidos en el presente y en otros sitios, comienzan a modificarse formas geométricas de algunas islas.

Lo anterior sugiere que dicho tramo fluvial está experimentando procesos evolutivos y alteraciones más activos que los observados y mejor conocidos del tramo medio e inferior del río. De aquí la importancia de conocer mejor la forma y magnitud según las cuales, se produce el suministro y flujo de masas de materiales en este sistema de canales.

#### 4 RESULTADOS DE MEDICIONES RECIENTES

El gráfico No 3 ilustra la distribución de caudales líquidos y sólidos obtenidos durante dos condiciones en el tramo de 350 kms. de longitud. Estos corresponden al máximo nivel de aguas registrado en Agosto y el de aguas en descenso, de Noviembre-Diciembre de 1991. Algunos hechos resaltan de las mediciones.

En aguas máximas el caudal del Guaviare, fué similar al del Alto Orinoco, destacándose igualmente su importancia como suministrador de sedimentos y en tanto su caudal medio excede al del río Meta y las concentraciones del sedimento son comparables entre si, es de esperarse que las magnitudes de acarreo anuales sean tan importantes o mayores que las de aquel.

En altos niveles, los aportes líquidos de tributarios situados aguas abajo de San Fernando de Atabapo hasta la confluencia con el Río Sipapo, no son significativos como para mantener el sostenido incremento del caudal notado en el canal del Río Orinoco. En este tramo con velocidades de la onda del hidrograma en el rango de 150-200 km/d, es factible seguir en forma sincrónica las parcelas de aguas y sólidos y de ésta manera, precisar su distribución de los mismos a lo largo del canal. En Guayaguayare y Buena Vista (cerca de la Boca del Sipapo), se midieron (17-18/8/1991), caudales de 26430 y 32500 m<sup>3</sup>/s respectivamente, cuando el aporte del Vichada -el mayor tributario en el tramo-, fué solo de 960 m<sup>3</sup>/s. Se reconoce por lo tanto, la importancia que tiene el suministro desde los almacenamientos en la planicie fluvial y sectores no drenados por tributarios en dicho tramo, en especial de la parte del Escudo Guayanés donde es más elevada la precipitación, ello se ha ilustrado esquemáticamente con flechas a trazos en el gráfico No 3.

Durante la fase de descenso, los balances de flujos se mantienen a lo largo del tramo fluvial y no se ha considerado aún el efecto que esto puede tener sobre el transporte sólido, que es significativo en los ríos con mayores aportes sólidos como el Guaviare y el Meta.

Los procesos de separación de flujos y de sedimentos en las confluencias de estos ríos con el Orinoco, reconocidos en estudios previos (1), (2) y (4), persisten bajo diferentes condiciones de flujos y el represamiento especialmente en los de llanuras dentro del tramo considerado, determinán la retención de los sedimentos en las depresiones marginales lo que contribuye a acelerar los procesos constructivos y erosionales observados en las planicies fluviales, siendo el material fino el de mayor movilidad. Aguas abajo de la confluencia Meta-Orinoco, se produce un mayor recogimiento del sedimento durante la condición de aguas máximas, sin duda provenientes de los depósitos frontales del delta sub-acuático del Meta, de allí el notable aumento local del transporte ilustrado en el Gráfico N° 3.

En el Rio Meta las mediciones previas indican que es al inicio del período de las crecientes anuales, cuando se produce el mayor transporte sólido hacia el río Orinoco, al producirse bajos niveles en éste y el proceso de disección y re-suspensión del sedimento previamente depositado en gruesas acumulaciones deltáicas, se hace más activo por acción de los flujos.

Un suministro de flujos adicionales no uniformemente distribuidos sobre el canal principal hace mas complejo el proceso de separación y la distribución de las plumas de dispersión especialmente la proveniente del Rio Guaviare, la cual en razón de las mayores pendientes del tramo, la alta capacidad de mezcla en zonas de raudales y rápidos y el aporte de aguas de las zonas de llanuras con menores concentraciones de sedimentos, favorecen se alcance una mas eficaz homogeneidad de los flujos.

Evaluar la forma como ocurren estos complejos mecanismos en base al levantamiento de datos y mediciones hidrológicas y sedimentológicas en este conjunto de ríos, son algunos de los objetivos propuestos a alcanzar en el futuro.

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. MEADE R. et al (1983). "Sediment and water discharge in Rio Orinoco, Venezuela and Colombia" Proc. of II inter. simposium on River Sedimentation. Nanjing, China.
2. NORDIN C.F Jr, PEREZ, H. DAVID (1986). "The water and sediments of the Rio Orinoco and its major tributaries, Venezuela and Colombia- Sand waves, bars and wind-blown sands. USGS water supply paper N 2326-A.
3. PEREZ, H. DAVID (1985). "Investigaciones hidrológicas, sedimentológicas e hidrogeoquímicas recientes en la cuenca del Rio Orinoco". (PUB. U.C.V).
4. STALLARD R. (1985). "Cross channel mixing and its effect on sedimentation in the Orinoco." Dpt of Geological and Geophysical sciences. Princeton University, New Jersey.
5. MCKEE E.D. (1986) "The water and sediments of the Orinoco and its major tributaries, Venezuela and Colombia. Sedimentary structures and textures of the Orinoco channels sands. USGS water supply paper N 2326-B.
6. WEIBEZAHN F. (1985) "proyecto estudio preliminar del Rio Orinoco como sistema ecológico" (PECOR). Pub. MARNR-USB-PDVSA.

## Determinación de Hidrogramas de Crecidas Complejas asociados a diferentes períodos de Retorno

José R. Córdova R. y Marcelo González S.  
Universidad Simón Bolívar

Manuel Matute  
Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables  
Caracas, Venezuela

### Resumen

En este estudio se desarrolla una aplicación del método de construcción de hidrogramas de crecientes descrito por Cekota, Córdova y Rodríguez Iturbe (1988), para la definición de hidrogramas de crecientes complejas producto de la ocurrencia conjunta de varias tormentas en forma secuencial. El conjunto de crecientes derivado según esta metodología tiene la característica de poseer el pico, los volúmenes acumulados a diferentes intervalos de tiempo, el volumen total, y el tiempo y gasto base asociados al mismo período de retorno. El método se aplica a la selección de la alternativa de proyecto de las obras de desvío - diámetro de tunel y altura de la ataguía -, para el embalse el Diluvio sobre el río Palmar, en Venezuela.

### I.- Introducción

Las crecidas son unos de los fenómenos naturales más importantes en hidrología, las cuales se caracterizan a través de sus hidrogramas, que varían en la magnitud de su pico, su forma, volumen, duración y gasto base. En la literatura especializada (Natural Environment Research Council- London, 1975; Raudkivi, 1979; Voskresnsky, 1967; etc.) se ha hecho un gran esfuerzo para estimar estos hidrogramas aplicando diferentes metodologías como la teoría del hidrograma unitario, promediando hidrogramas históricos, generalizaciones geométricas y mediante el uso de modelos matemáticos lluvia-escorrentía basados en eventos de lluvia.

Lo importante es que en todas estas metodologías se considera que el hidrograma de la crecida representa la respuesta típica de la cuenca al efecto de una tormenta, y bajo esta premisa básica, se estiman los hidrogramas cuyos picos están asociados a un determinado período de retorno para ser usados en el diseño de estructuras hidráulicas en general.

Sin embargo, en muchos ríos se observa que las crecidas no ocurren en forma aislada, sino agrupadas de forma tal que su secuencia constituye un hidrograma complejo determinando - desde el punto de vista del diseño de la obra - que el volumen y la forma del mismo es tan importante ( algunas veces más importante ) como el pico. Estas crecidas son el producto del efecto que tiene la llegada de un conjunto de tormentas

solapadas (en forma secuencial) que determina que el patrón de lluvias varíe en forma compleja tanto en tiempo como en espacio.

En referencia a estas crecidas complejas, Voskresensky (1967) describe una metodología que consiste en derivar el hidrograma típico promediando los hidrogramas complejos obtenidos en crecidas históricas. Estos hidrogramas históricos son transformados en hidrogramas adimensionales expresando sus ordenadas como un porcentaje de la suma total de caudales y las abcisas como un porcentaje de la duración total del hidrograma. Posteriormente, estos hidrogramas adimensionales son promediados obteniéndose así un hidrograma típico. Haciendo un análisis de extremos de volúmenes máximos anuales para una determinada duración, con el hidrograma adimensional antes derivado, se puede obtener el hidrograma típico de la crecida asociada a este volumen. Este método garantiza que el volumen total del hidrograma esté asociado a un determinado período de retorno, pero no garantiza que el resto de las características del hidrograma esten asociadas al mismo período de retorno.

Por su parte, la metodología descrita por Cekota, Córdova y Rodríguez-Iturbe (1988) si garantiza que el hidrograma derivado tiene el gasto pico, gasto base, duración, volumen total y volúmenes parciales calculados para diferentes intervalos de tiempo, asociados al mismo período de retorno. Es por esto que en el presente trabajo se hace una extensión o más bien una aplicación de esta última metodología con el fin de derivar los hidrogramas de crecidas complejas cuyas características ya señaladas esten asociadas al mismo período de retorno.

## II.- Método de Análisis

Con el fin de introducir el método de análisis a continuación se hace un resumen de la metodología desarrollada por Cekota, Córdova y Rodríguez-Iturbe (1988), describiéndose además la extensión o modificación que se realiza a fin de generalizar su aplicación al caso de hidrogramas complejos.

Esta aplicación del método considera tres partes, en la primera se hace un análisis de volúmenes extremos para diferentes niveles de agregación, luego se estima el tiempo total y el gasto base del hidrograma y finalmente se procede a la construcción del hidrograma total.

### II.1.- Análisis de Extremos para Diferentes niveles de Agregación

El primer paso en este análisis es definir el intervalo de tiempo de cálculo,  $\Delta t$ . Este intervalo de tiempo se selecciona en función del grado de exactitud que se desee obtener en el cálculo y muchas veces está limitado por la disponibilidad de información. Este intervalo puede ir desde cinco minutos hasta

varios días, dependiendo de la duración característica de los hidrogramas de las crecidas en el curso de agua analizado. Lo importante es definir un intervalo tal que la diferencia entre el gasto máximo instantáneo y gasto máximo medio sobre este intervalo no sea muy grande.

Una vez seleccionado el intervalo de tiempo se procede a construir series de datos anuales que contienen el volumen acumulado en intervalos de tiempo que son múltiplos de  $At$ , es decir, para  $At, 2At, 3At, \dots, NAT$ . Donde  $NAt$  debe ser mayor que la máxima duración de los hidrogramas complejos de crecidas históricas registradas. Es importante observar que estas series debe ser construidas en forma de volúmenes cabalgantes, en otras palabras, para el intervalo  $At$  se tendrán datos desde 1 hasta el número de intervalos de tiempo que existen en un año (lo cual depende del tamaño de  $At$ , denotemos este número como  $NT$ ), para  $2At$  la serie de datos contiene  $NT-1$  valores, y en general para  $NAt$  se obtendrá una serie con  $NT-NAt+1$  datos.

En ecuaciones el procedimiento en cuestión consiste en lo siguiente :

-La serie de gastos promedios en  $At$ , se pasa a volúmenes, denotados como  $V(i,j)$ , donde  $j$  representa el año e  $i$  el intervalo de tiempo  $At$ .

-Luego la serie de volúmenes acumulados en  $n$  intervalos de tiempo,  $X(n,i,j)$  se calcula como:

$$X(n,i,j) = \sum_{k=i}^{i+n-1} V(k,j) \quad , \quad \begin{array}{l} \text{para } i=1, NT-n+1 \\ n=1, 2, \dots, NAT \\ j=1, N \end{array} \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

donde  $N$  es el número de años,  $NT$  el número de intervalos de tiempo considerados en un año y  $NAt$  representa el número máximo de intervalos de tiempo en que se van a agregar los volúmenes. Esta última variable debe ser superior al tiempo base del hidrograma.

-De estas nuevas series se selecciona el máximo anual,  $Y(n,j)$

$$Y(n,j) = \text{Max}_{i=1, NT-n+1} \{ X(n,i,j) \} \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

-Finalmente a cada serie de volúmenes máximos anuales,  $Y(n,j)$ ,  $n=1, NAT$ , y  $j=1, N$  se le ajusta una distribución probabilística de extremos que generalmente es Gumbel, pero que pudiera ser Log-Gumbel, Log-Pearson o cualquier otra que ajuste bien a los datos históricos. Esto

permite definir la variable  $Z(n, Tr)$ , la cual representa el volumen agregado en  $n$  intervalos de tiempo  $At$  que posee un período de retorno de  $Tr$  años.

## II.2.- Estimación del Tiempo y Gasto Base del Hidrograma

Para la estimación del tiempo base del hidrograma y su gasto base asociado se construye una serie de diferencias entre los volúmenes acumulados en diferentes intervalos de tiempo. Para la obtención de esta serie se procede, para cada período de retorno, a calcular la diferencia entre los volúmenes de  $n$  y  $n-1$  intervalos de tiempo, denotada como  $D(n, Tr)$ .

$$D(n, Tr) = Z(n, Tr) - Z(n-1, Tr), \quad n = 1, NAt \quad (2.3)$$

Luego se grafican los resultados y se busca el valor de  $n$  al cual se produce una estabilización de estas diferencias (parándose su decrecimiento), la cual puede comenzar a oscilar alrededor de una asíntota. Es decir, cuando la derivada de  $D(.)$  con respecto a  $n$  tiende a cero.

$$\frac{d [D(n, Tr)]}{d n} \quad 0 \quad \dots \quad (2.4)$$

Cuando el río analizado se caracteriza por presentar crecidas complejas este gráfico no es monotónicamente decreciente sino más bien se presenta un decrecimiento errático donde la diferencia  $D(n, Tr)$  baja y sube con respecto a  $n$ , aunque en promedio siempre disminuye. Sin embargo, a medida que  $n$  aumenta se tiende a una estabilización pudiéndose establecer así el valor  $n^*$  que representa la duración total del hidrograma complejo para el período de retorno  $Tr$ . Al llegar a esta estabilización se puede pasar al próximo paso en el análisis que corresponde a la construcción del hidrograma. Esta última variante es lo que diferencia esta aplicación de la metodología original descrita por Cekota, Córdova y Rodríguez-Iturbe (1988).

## II.3.- Construcción de los Hidrogramas de Crecidas

Observando los hidrogramas de las crecidas históricas del río bajo consideración, se define la ubicación del pico del hidrograma complejo respecto a la duración del hidrograma total o tiempo base del hidrograma. Por otra parte, el caudal que se obtiene cuando  $n$  es igual a  $n^*$  corresponde al caudal base, mientras que  $n^*$  representa el tiempo base del hidrograma complejo para ese período de retorno.

Finalmente, el procedimiento para la construcción del hidrograma total consiste en lo siguiente: como primer paso se ubica el pico del hidrograma de acuerdo al análisis descrito

en el párrafo anterior, supóngase que esta ubicación se realiza a un tercio del tiempo base total (lo cual es típico en la mayoría de las cuencas pequeñas, sin embargo, es importante hacer notar que a medida que las cuencas aumentan en tamaño este pico tiende a ubicarse en la mitad del tiempo total). De esta manera, para la construcción de los hidrogramas de crecidas estimados para los diferentes períodos de retorno se ubica el valor del gasto pico instantáneo a un tercio del tiempo base, y luego los gastos calculados para cada intervalo de tiempo adicional se van colocando en forma alternativa uno antes y dos después del pico del hidrograma ( para mantener la distribución de un tercio antes del pico y dos tercios después del pico) hasta que los gastos finales y el tiempo, coincidan con el gasto y el tiempo base del hidrograma estimado en el párrafo anterior.

### III.-Aplicación al Río Palmar en El Diluvio, en Venezuela

La cuenca del río Palmar hasta el sitio de presa de EL Diluvio esta ubicada en la parte Nor-Occidental del estado Zulia en Venezuela, muy cerca de la frontera con la República de Colombia, y drena sus aguas hacia el Lago de Maracaibo. El area total de la cuenca es de 890 Km<sup>2</sup> y es drenada por dos vertientes casi paralelas - rios Palmar y Las Lajas - que se unen muy cerca del sitio El Diluvio. La cuenca no presenta intervención antrópica apreciable y se caracteriza por la presencia de una densa vegetación tipo bosque tropical húmedo con precipitación media anual cercana a los 2000 milímetros. Adicionalmente, esta cuenca se encuentra ubicada dentro de la formación orográfica llamada Serranía de Perijá.

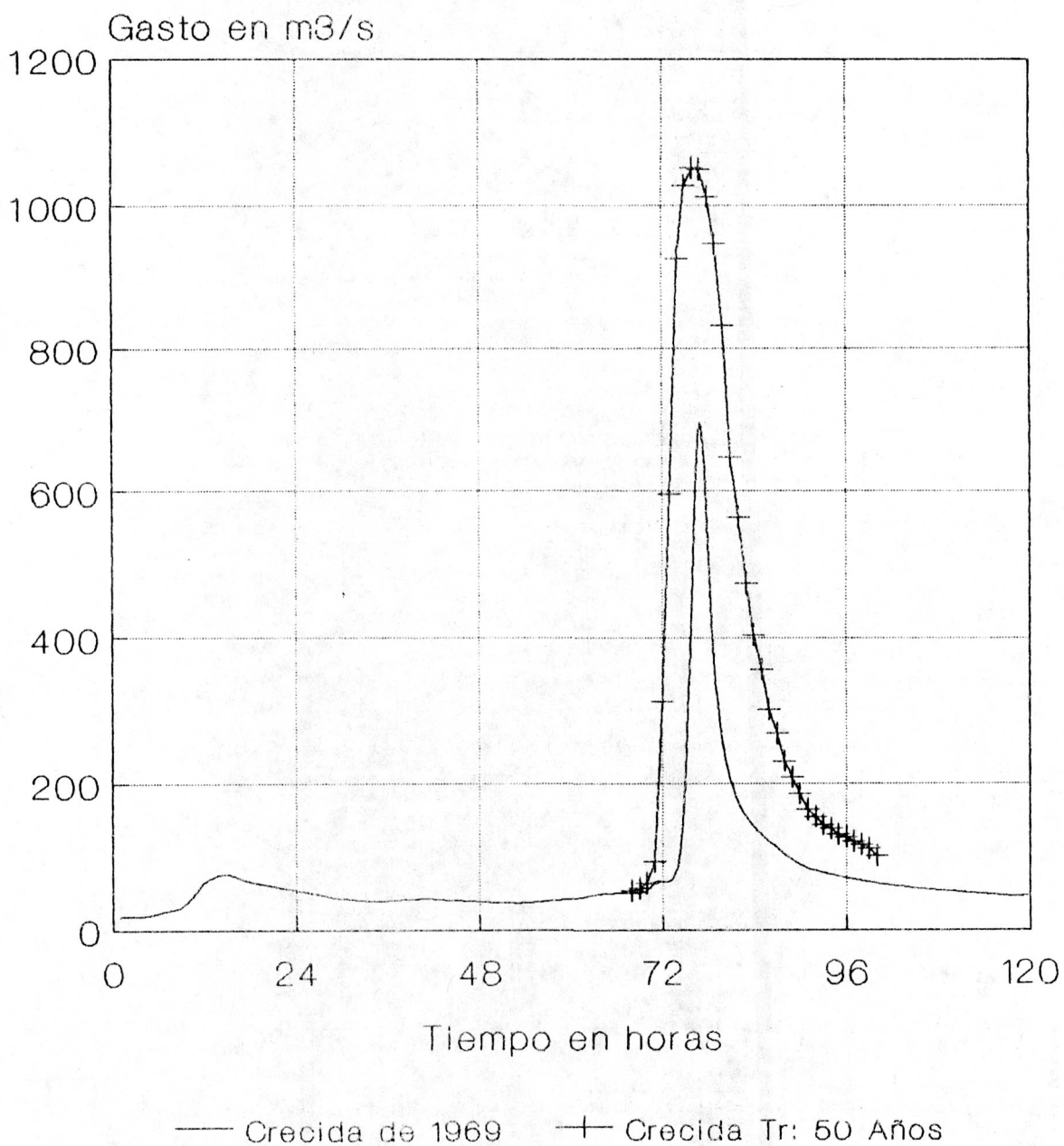
La climatología de esta región de Venezuela se caracteriza por la aparición de dos ciclos o estaciones lluviosas en el año ; una época que se sitúa aproximadamente entre los meses de Noviembre y Diciembre y otra estación que va desde las últimas semanas de Abril hasta el mes de Agosto. Cada estación de lluvia esta originada por fenómenos sinópticos diferentes, las lluvias de los meses de Diciembre por perturbaciones del Norte o frentes fríos y la otra estación por efectos de la Convergencia Intertropical (ITCZ).

Las excelentes condiciones agrícolas de las tierras cercanas a esta cuenca, han originado la proposición de un proyecto para regar hasta 30000 hectáreas con la regulación de una presa en el sitio El Diluvio, que aprovecharía casi totalmente los 17 m<sup>3</sup>/s de gasto medio que produce la cuenca.

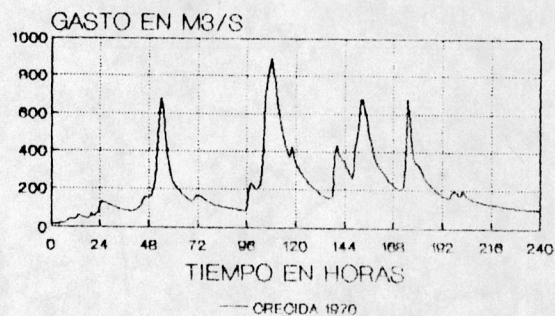
El hidrograma de respuesta promedio típico para una cuenca de este tamaño, calculado con metodos tradicionales, produce formas cuyo tiempo al pico estaria cerca de las 10 horas y cuyo tiempo base está alrededor de las 24 horas. A titulo de ejemplo se presenta la Figura 1, donde se compara la crecida máxima del año 69 con el hidrograma teórico estimado para un periodo de retorno de 50 años (González, et. al, 1975). Sin embargo, como se puede observar en la Figura 2, en los años 70,

le . . . . .  
 \*n a Isugi se n obnsuo emttio es sup Isabuo  
 canal que se obtiene cuando n es igual a n\* corresponde a

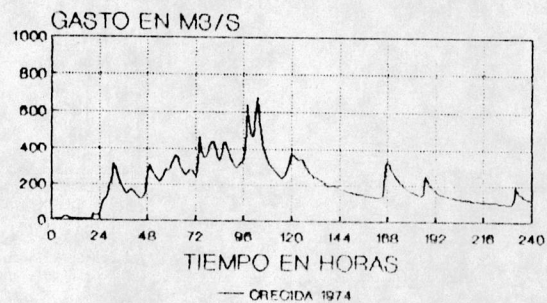
**Fig. 1.- Crecidas Máximas  
Río Palmar en el Diluvio  
Periodo (12/12 al 16/12)**



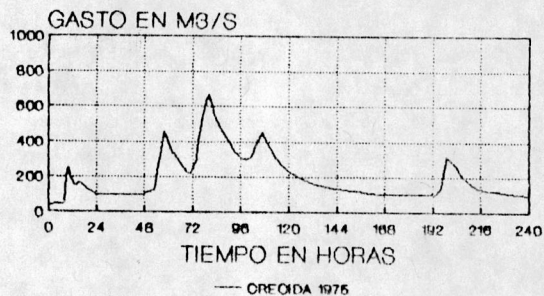
**CRECIDA MAXIMA DEL AÑO 1970  
RIO PALMAR EN EL DILUVIO  
Periodo (28/11 al 7/12)**



**CRECIDA MAXIMA DEL AÑO 1974  
RIO PALMAR EN EL DILUVIO  
Periodo (28/4 al 7/5)**



**CRECIDA MAXIMA DEL AÑO 1975  
RIO PALMAR EN EL DILUVIO  
Periodo (12/12 al 21/12)**



**Fig. 2.- Crecidas Complejas Observadas**

74 y 75 se produjeron crecidas máximas del tipo complejo que representan la sucesión de hidrogramas típicos, como el indicado en la Figura 1, y que son el producto de llegadas de grupos de tormentas solapadas y en forma secuencial.

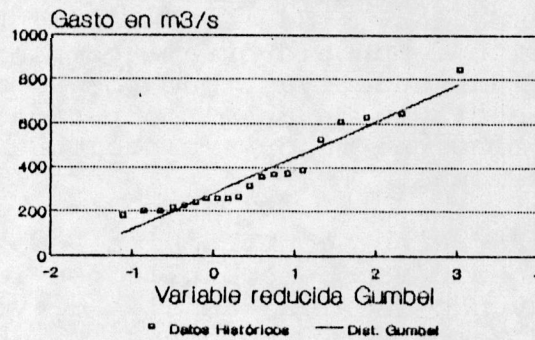
En este caso estudio se aplica la metodología de cálculo antes descrita, con el fin de que el proyectista pueda diseñar las obras de desvío de la presa El Diluvio, tomando en cuenta la estimación de un hidrograma complejo, producto de la ocurrencia de crecidas sucesivas, que posea todas sus principales características asociadas a un mismo período de retorno. Este procedimiento permite una mejor evaluación del riesgo implícito en la toma de decisiones.

Para la construcción de los hidrogramas complejos, se procedió según se explicó en la sección II de este trabajo, construyendo series anuales de volúmenes en 1 hora (valor seleccionado como  $A_t$ ), 2 horas, ... hasta 168 horas (7 días). Posteriormente, se ajustaron las distribuciones de extremos (que en este caso fue la distribución Gumbel) de los máximos anuales de dichas series - en la Figura 3 se presentan a manera de ejemplo el ajuste logrado para tres valores de  $n$  - , y se calcularon los hidrogramas correspondientes. Finalmente, en la Figura 4 se presentan los resultados de la aplicación de esta metodología en el cálculo del hidrograma complejo correspondiente a 50 años de período de retorno.

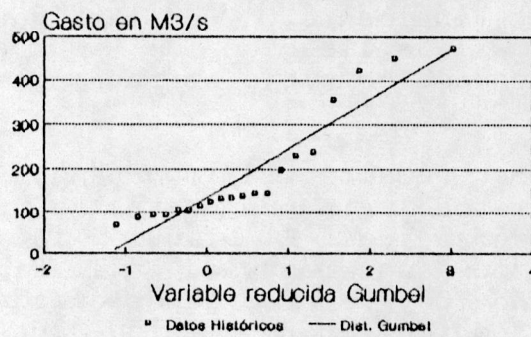
Para resaltar la importancia de los resultados obtenidos con la metodología propuesta, se transitaron por las obras de desvío en la presa El Diluvio, la crecida simple de período de retorno 50 años mostrada en la Figura 1, la crecida registrada en el año 70 y la crecida calculada con el método aquí propuesto con período de retorno de 50 años, obteniéndose las dimensiones de las obras que aparecen en la Tabla 1 que se muestra a continuación (estos datos fueron suministrados por el proyectista Suarez (1990), quien hizo el análisis hidráulico económico del proyecto).

Como se puede observar en la tabla anterior, si las obras de desvío se diseñan para el hidrograma simple, estas fallarían al pasar una crecida compleja como la del año 1970. Sin embargo, al realizar el diseño con el hidrograma complejo que tiene el mismo pico que el hidrograma simple (para el mismo período de retorno analizado, 50 años), no pasaría nada con la crecida antes mencionada. Esto refleja lo importante que es asociar todas las características que tienen los hidrogramas complejos al período de retorno seleccionado para el diseño.

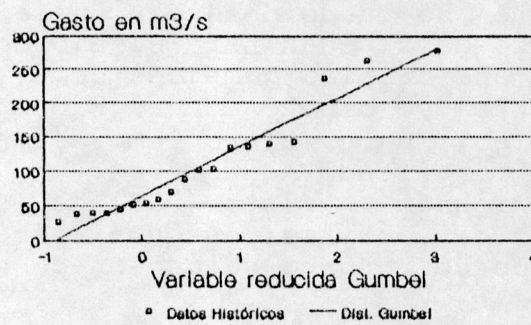
**Gastos Promedios Extremos en 2 horas  
Río Palmar en El Diluvio**



**Gastos Promedios Extremos en 24 horas  
Río Palmar en El Diluvio**



**Gastos Promedios Extremos en 168 horas  
Río Palmar en El Diluvio**



**Fig. 3.- Distribución de Volúmenes Extremos**

**Fig. 4.-Crecida Compleja Cincuentenaria  
Estación Río Palmar en el Diluvio**

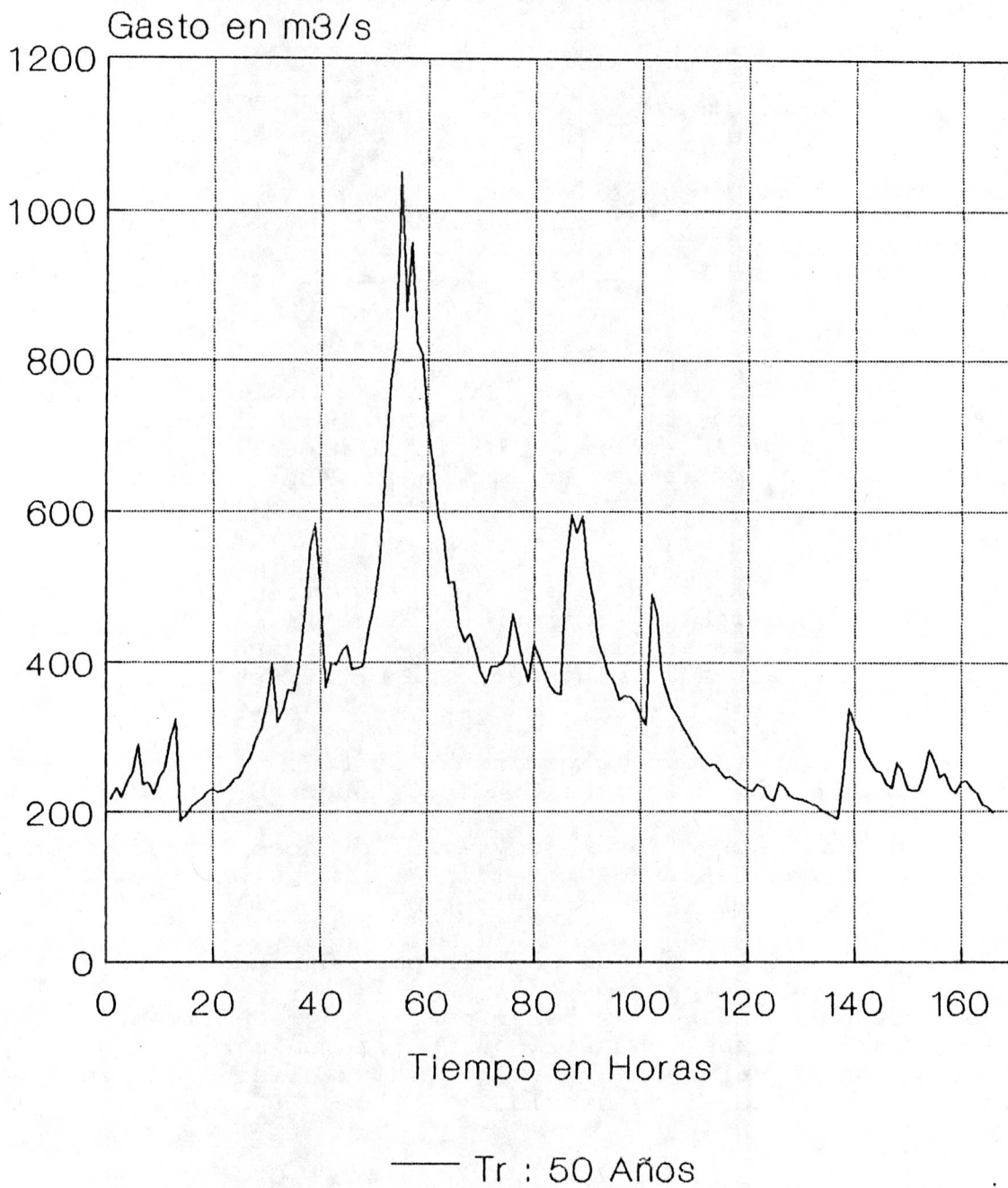


Tabla 1.- Resultados Obtenidos en el Tránsito de las Crecidas por las Obras de Desvío

Hidrología de diseño	Altura de Ataguaia (m)	Diametro Tunel (m)
Hidrograma Simple 50 años	23.5	3.0
Hidrograma Histórico Año 1970	45.0	4.0
Hidrograma Complejo (Volumétrico) 50 años	50.0	4.0

#### IV.-Bibliografía

Cekota, M., Córdova J.R. y I. Rodriguez-Iturbe. "Construcción de Hidrogramas de Crecientes para diversos Períodos de Retorno". Congreso sobre la Mitigación de Peligros debido a Eventos Naturales Extremos en America. Auspiciado The U.S. National Science Foundation y la Universidad de Puerto Rico en Mayaguez, Puerto Rico, 1988.

González M., H. Rijdsdijk, H. Silvestre y J.R. Córdova. "Aprovechamiento del Río Palmar en el sitio El Diluvio : Altura de presa, Area de desarrollo de Riego, Trasvase del Guasare y Análisis de Crecientes". Ministerio de Obras Públicas, Caracas, 1975.

Natural Enviroment Research Council. "Flood Studies Report". Volume I. Hydrological Studies. London U,K,m 1975.

Raudkivi, A.J. "Hydrology. An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling". Pergamon Press, New York, 1979.

Suarez, L.M. Comunicación Personal. Caracas, 1990.

**Agradecimientos** Se desea expresar nuestro agradecimiento a el Ingeniero Luis Miguel Suarez quien suministró todos los datos correspondientes al análisis hidráulico-económico del proyecto de las obras de desvío.

IV ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA, AGUA Y TIERRA  
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

Tema: 1.2: Manejo y Aplicación de Datos no Tradicionales

Ing. Hidrometeorologista Edgar F. Ramírez D. (1)

BOLETINES AGROMETEOROLOGICOS  
EN VENEZUELA

(1) Proyecto VEN 92/007/PNUD-MARNR. Dirección de Hidrología y Meteorología. Teléfono: 408-1947, FAX (02) 545-06-07. Caracas, Marzo 1992.

## I. INTRODUCCION

La variabilidad y cambios del clima unido al sostenido crecimiento demográfico y deterioro de la economía mundial, obliga a pensar muy seriamente en el tema de la seguridad alimentaria, Venezuela no escapa de esas características climatológicas y de desarrollo, sino por el contrario se ve muy afectada.

En el país la necesidad de incrementar la producción de alimentos, se hace cada vez más imperiosa y como es sabido ello depende básicamente de tres elementos: suelo, cultivo y clima.

En lo que se refiere al suelo y cultivo, la sociedad de hoy brinda una diversidad de aplicaciones tecnológicas para su manejo eficaz y muy bien podría decirse que las citadas variables pueden controlarse. Sin embargo en lo que se refiere al clima, su manejo escapa del control humano.

El clima hace de la agricultura una actividad riesgosa, hasta el punto de que constituye la variable que mayores pérdidas origina a nivel nacional y mundial; mas aún hoy en día donde la variabilidad del clima y el alto costo de los insumos básicos para la siembra afectan seriamente y de manera negativa la tranquilidad y moral de los agricultores. Por otro lado mas del 80% de la agricultura nacional es de secano, lo que significa que depende exclusivamente de las condiciones climatológicas y muy en particular de la cantidad y distribución de las lluvias.

La agricultura, necesariamente, se debe desarrollar en el país con el menor riesgo posible, ya que por lo demás es una actividad lucrativa, y así contribuir a satisfacer las demandas de alimentos a nivel nacional e internacional.

Para lograr ese objetivo, es indispensable hacer un seguimiento de las condiciones atmosféricas en tiempo real, sobre cualquier parte del país y analizar sus posibles efectos en los cultivos. Esto se hace con el apoyo de los denominados **Boletines Agrometeorológicos**, que consisten en avisar oportunamente sobre tales condiciones a las regiones de interés contribuyendo así a disminuir notablemente los riesgos de pérdidas en la agricultura, como consecuencia de las condiciones adversas del clima.

Este tipo de información para el agricultor se viene realizando en el país, desde hace aproximadamente dos años, en algunas regiones agrícolas principales, tales como el Valle del Río Yaracuy, Valle de Quibor, Cuenca del Río Unare, Mesa de Guanipa, Area Guanare-Masparro, entre otras, resultando un gran éxito. Como ejemplo de ello, se recuerda, que en el año de 1991 la temporada de lluvias se inició

con un retraso de 60 a 70 días en la mayor parte de Venezuela. Con la emisión semanal de los Boletines Agrometeorológicos y su posterior divulgación regional, se pudo alertar sobre la situación anormal de las condiciones atmosféricas, recomendándole al agricultor que no iniciara el proceso de siembra. Esto ocasionó un resultado muy positivo, ya que más del 80% del área cultivada no se perdió por siembra no efectiva, es decir, no hubo gastos extras por resiembra.

## II. BOLETINES AGROMETEOROLOGICOS. DEFINICION Y TIPOS

Los "Boletines Agrometeorológicos" son informaciones, avisos o alertas sobre el estado y tendencia de las condiciones atmosféricas reinantes en un lugar determinado y sus posibles efectos en los cultivos y actividades agrícola. También se les puede llamar Boletines Meteorológicos para Fines Agrícolas.

Los Boletines Agrometeorológicos pueden ser de varios tipos, dependiendo para el lapso en que se emitan. En Venezuela se emiten:

- a) **Boletines Agrometeorológicos Semanales:** son boletines que se emiten una vez cada semana, es decir, 4 durante el mes, desde uno o dos meses antes de la fecha de entrada de aguas (para reducir la incertidumbre de las llegadas tempranas o tardías), hasta que la temporada lluviosa está bien establecida. También pueden emitirse durante todo el ciclo del cultivo y para cultivos sembrado en ciclo norte.

El boletín semanal contiene la siguiente información:

- 1) Situación y tendencia del tiempo atmosférico
- 2) Efectos sobre los cultivos y recomendaciones

El Boletín Agrometeorológico Semanal permite al agricultor la toma de decisiones prácticas u operativas, tal es el caso del monitoreo de la llegada de la temporada lluviosa, y en consecuencia la optimización de su fecha de siembra, evitando el riesgo de resembrar, que ocurre frecuentemente cuando se producen lluvias por condiciones meteorológicas especiales, pero que no corresponden al mecanismo que produce la temporada de lluvias en el país.

b) **Boletines Agrometeorológicos Mensuales:** son boletines que se emiten los primeros días del mes y contienen información agroclimática (clima, cultivo y suelo) de lo sucedido en el mes precedente. En este boletín se incluye la siguiente información, a saber:

1. Situación Meteorológica General en el mes.
2. Tendencia del tiempo meteorológico para el mes siguiente.
3. Comportamiento del clima durante el mes.
4. Efectos sobre los cultivos.
5. Condiciones agroclimáticas esperadas para el mes siguiente.
6. Prevención y recomendaciones.

El Boletín Agrometeorológico Mensual, permite al agricultor orientar las actividades de planificación, tal como llevar un seguimiento de las condiciones generales por las que va atravesando el cultivo, y en consecuencia hacer estimados del rendimiento que se puede obtener, asimismo en el boletín aparece información sobre la lámina neta de riego, en caso de que el agricultor disponga de riego.

En ambos boletines se incluye el servicio de Alertas Extraordinarias cada vez que la situación meteorológica lo requiera.

### III. INFRAESTRUCTURA OPTIMA COMO APOYO PARA LA EMISION DE LOS BOLETINES AGROMETEOROLOGICOS

Para la emisión de los Boletines Agrometeorológicos con resultados efectivos, se requiere la infraestructura y logística siguiente.

1. Un servicio meteorológico con
  - a) Receptora de imágenes de satélites
  - b) Elaboración de mapas sinópticos
  - c) Sistema de telecomunicaciones

2. Un servicio de climatología
  - a) Cartas temáticas de los diferentes parámetros meteorológicos.
  - b) Información Climática
3. Una Red Agrometeorológica
  - a) Red Meteorológica
  - b) Observaciones Fenológicas
  - c) Observaciones de Humedad del Suelo

Un análisis de las condiciones del tiempo apoyado en información climática y complementada con información del cultivo y almacenamiento de agua en el suelo, permite realmente dar las mejores y eficaces recomendaciones para el desarrollo de una agricultura con el menor riesgo posible, incidiendo en la mejora de la producción y productividad agrícola.

#### IV. UTILIDAD PRACTICA DE LOS BOLETINES AGROMETEOROLOGICOS

El servicio que brinda los Boletines Agrometeorológicos, permite aumentar el nivel de información de los productores agrícolas en cuanto a la planificación de sus actividades, y en la toma de decisiones prácticas u operativas con el menor riesgo posible. Entre las aplicaciones que pueden derivarse del boletín están:

1. Adelanto o retraso de la siembra y cosecha según la variabilidad de la temporada de lluvias.
2. Aplicación óptima de insumos químicos.
3. Planificación y optimización del uso y mantenimiento de las maquinarias agrícolas.
4. Estimación de cosechas
5. Reducción de lámina de riego (ahorro de agua)
6. Disminución del riesgo agrícola y en consecuencia aumento de la tranquilidad y sosiego al agricultor.

## V. EXPERIENCIAS EN VENEZUELA

La experiencia en Venezuela (2) data de dos años en **Boletines Agrometeorológicos** emitidos para el Valle del Río Yaracuy dentro del marco de un Convenio Agrometeorológico con la Finca Naranjal (DANAC) - Fundación Polar. Con esa experiencia se obtuvo resultados muy positivos contribuyendo a mejorar las actividades de planificación y operación agrícola en la Finca y por consiguiente ahorros significativos en el tiempo y finanzas de la misma.

Otra experiencia positiva con el uso de la información contenida en los **Boletines Agrometeorológicos**, se logró en el año de 1991, cuando se emitieron boletines para las áreas agrícolas: Guanare-Masparro, cuenca de Unare, Mesa de Guanipa y Estado Monagas.

En el año de 1991 hubo un retraso de 60 a 70 días en el inicio de la temporada de lluvias, mediante la emisión de **Boletines Agrometeorológicos Semanales**, se logró alertar sobre dicha situación y retrasar el proceso de siembras hasta que comenzó la temporada lluviosa.

Según informaciones escritas y verbales de productores e instituciones relacionadas con el agro, ese año hubiese sido de mucho daño a la agricultura regional y nacional, por las pérdidas millonarias por siembra no efectiva, a no ser por la emisión de los mencionados boletines.

Como ejemplo, se cita la información enviada por la región de Monagas, que de 24.000 Ha. sembradas hubo éxito en 20.000 Ha. Si consideramos que para sembrar 1 Ha. de maíz (cultivo mayormente sembrado), se invierten 15.000 a 20.000 Bs/Ha., en el Estado Monagas se pudo ahorrar, ese año, de 300 a 400 millones de bolívares, cifra que equivale de 4 a 5 veces el presupuesto de toda la Dirección de Hidrología y Meteorología del MARNR, organismo donde se ubica el servicio. Algo similar ocurrió en las demás regiones. Caso contrario ocurrió en 1989 cuando con un retraso de las lluvias de 30 días, en Monagas ocurrieron pérdidas millonarias.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La emisión y uso de la información contenida en los **Boletines Agrometeorológicos**, se traducen en:

- Ahorro de finanzas

---

(2) Realizadas dentro del marco de los Proyectos de Desarrollo PNUD/MARNR, Dirección de Hidrología y Meteorología.

- "Ahorro" de tiempo
- Disminución del campo de incertidumbre y con ello el riesgo de pérdidas de siembras.
- Da tranquilidad y sosiego al agricultor

Por tales conclusiones se recomienda a las personas, Organismos e Instituciones relacionadas con el agro:

- Estimular el uso de los Boletines Agrometeorológicos en la Agricultura nacional.

República de Venezuela  
Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables  
DIRECCION GENERAL SECTORIAL DE INFORMACION, INVESTIGACION Y CONSERVACION  
DE SUELO, AGUA Y VEGETACION  
DIRECCION DE HIDROLOGIA Y METEOROLOGIA  
DIVISION DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES-DPTOS. DE AGROMETEOROLOGIA  
Y ALERIA CONTRA INUNDACIONES Y SEQUIAS

## BOLETIN METEOROLOGICO PARA FINES AGRICOLAS

N° 1 SEMANA 22 al 28 de ABRIL de 1991  
AREA GUANARE-MASPARRO LDO. BARTINAS-PORTUGUESA

### SITUACION Y TENDENCIA DEL TIEMPO ATMOSFERICO

ACTUALMENTE SE OBSERVA UN FENOMENO METEOROLOGICO LLAMADO "VAGUADA EN LA ALTURA" PRODUCIENDO GRAN NUBOSIDAD Y LLUVIAS EN LOS ANDES, NOR-OCCIDENTE Y COSTAS VENEZOLANAS.

DICHA SITUACION TAMBIEN ESTA ORIGINANDO AUMENTO DE AREAS NUBOSAS Y LLUVIAS LIGERAS EN EL AREA GUANARE-MASPARRO Y PRINCIPALMENTE HACIA SU PIEDEMONTE ANDINO. Y PODRIA PERMANECER POR VARIOS DIAS (3 a 4 días).

**TENDENCIA:** LA FRANJA DE NUBOSIDAD ASOCIADA A LA TEMPORADA DE LLUVIA EN VENEZUELA Y LLAMADA ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL SE UBICA EN EL SUR, DESPLAZANDOSE HACIA NOSOTROS MUY LENTAMENTE, CAUSANDO UN RETARDO EN EL INICIO DE LAS LLUVIAS EN ESA REGION.

### EFFECTOS SOBRE LOS CULTIVOS

LAS SIEMBRAS DE LOS CULTIVOS SE REALIZAN CON EL INICIO DE LAS LLUVIAS Y DE TAL FORMA QUE SE GARANTICE AGUA DURANTE TODO SU PERIODO DE CRECIMIENTO.

COMO LA ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL SE ENCUENTRA EN EL SUR DEL PAIS, SE RECOMIENDA NO INICIAR LAS LABORES DE SIEMBRA TODAVIA, PUES SE PODRIA CORRER EL RIESGO DE PERDERSE.

LA SITUACION QUE ESTA PRODUCIENDO LLUVIAS ES TEMPORAL AUNQUE SUELE PRESENTARSE CON CIERTA PERIODICIDAD EN ESTOS DIAS.

ESTAR ALERTA ES LO MEJOR.

**NOTA:** ESTE BOLETIN VA A SER EMITIDO  
TODOS LOS LUNES A LA REGION DEL  
MARGEN DEL ESTADO.  
AGRADECEMOS SU DIVULGACION OPORTUNA

## IV ENCUENTRO NACIONAL CLIMA, AGUA Y TIERRA

IV JORNADAS NACIONALES  
DE  
HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

COMPARACION Y ANALISIS ARMONICO (1966-1989)  
PARA  
LA TEMPERATURA, RADIACION Y NUMERO DE WOLF  
EN  
PUNTA DE PIEDRAS, ISLA DE MARGARITA, VENEZUELA

Autores:

Campo del Caño, Mauricio (\*)

Bracho Magdalena, Carlos (\*\*)

\* Observatorio Naval Cagigal. DHN. La Planicie, Caracas.  
Y  
Fundación La Salle. Apartado 144. Porlamar 6301.  
Isla de Margarita. Edo. Nueva Esparta. Venezuela.

\*\* IUT-Región Capital, Km 8, Carretera Panamericana.  
Apartado 47394. Caracas 1041-A. Venezuela.

## I.- INTRODUCCION

En este trabajo se analizaron las variables meteorológicas temperatura y radiación utilizando el análisis armónico sobre los datos recopilados durante el periodo Enero 1966 - Diciembre 1989 en la estación meteorológica de Punta de Piedras (Lat.: 10° 54' 23'' N, Long.: 64° 06' 21'' W) ubicada en EDIMAR (Fundación La Salle). El objetivo principal es mostrar los cambios de dichos parámetros y establecer su relación con la densidad de manchas solares, calculando las constantes armónicas para la temperatura media mensual, para la radiación total mensual y para el número de Wolf anual.

Se efectuó un doble análisis de alta frecuencia (26 constantes) y baja frecuencia (6 constantes) realizando un programa basado en la expansión de Fourier [3] para un periodo total de 288 meses. Se reprodujeron los tres parámetros con el objeto de establecer relaciones entre sus amplitudes y periodos. La amplitud de cada armónico es calculada y sirven para indicarnos el peso de cada una de las componentes dentro del comportamiento global. El periodo promedio entre máximos para el número de Wolf, es de 11,2 años [2]. Utilizando la serie de Fourier, con sólo seis coeficientes, extraemos la componente de baja frecuencia para temperatura y radiación lo cual nos permitió establecer la comparación.

## II.- METODO DE ANALISIS

La serie de Fourier se aplicará a los datos de temperatura media mensual, a la radiación total mensual y a los datos mensuales del número de Wolf. Matemáticamente una serie de Fourier se expresa:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^x \left( a_k \cos \frac{2\pi tk}{T} + b_k \sin \frac{2\pi tk}{T} \right) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^x c_k \cos \left( \frac{2\pi tk}{T} - \theta_k \right)$$

donde T es el periodo de la función en el tiempo x(t), eso es:

$$x(t) = x(t + T), \text{ con } t \text{ la variable de tiempo}$$

$a_k$  y  $b_k$ , son las amplitudes de los términos armónicos, los cuales pueden ser encontradas mediante cálculo numérico [3] en una computadora; k es el índice de frecuencia. El número de términos a considerar en la serie es N, tomándose de acuerdo al número de datos y el periodo de Tiempo T que se desea analizar.

## III.- RESULTADOS

La serie de Fourier puede representar el comportamiento de la temperatura media (Figura 1) en la serie de tiempo desde 1966 hasta 1989 (dando un total de 288 meses, en 24 años). Se decidió usar la serie con 6 y 26 coeficientes, para así mostrar la baja y

alta frecuencia, respectivamente (Figura 2). El coeficiente  $A(0)=28.02$  °C, representa la media de la temperatura observada durante los 288 meses, la cual se obtiene sumando las 288 temperaturas medias mensuales para cada año y dividiendo entre 12.

La mayor amplitud en los coeficientes de la serie (Figura 3) se encuentran para el índice de frecuencia 24; o sea para la componente de periodo 12 meses (288/24), lo cual era de esperar por ser el periodo anual. El siguiente término en importancia corresponde al de índice de frecuencia 2 (12 años).

Utilizando la serie de Fourier, con sólo 6 coeficientes, podemos desglosar la componente de baja frecuencia para la temperatura y radiación. Aplicando Fourier a el número de Wolf y superponiendo las gráficas encontramos coincidencia en las curvas (Figura 3, 4 y 6), donde se observa la relación periódica existente. Las escalas y los valores utilizados para la temperatura se han modificado, desplazándose y multiplicándose por factores para una mejor visualización y la escala temporal se ha conservado.

La radiación total mensual (Figura 5), está comprendida entre 8 y 18  $\text{Cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{mes}) \cdot 10^{-3}$ , cuya media es 13.596, y presenta un comportamiento similar en la periodicidad y amplitud al compararse con la temperatura y el número de Wolf.

La temperatura, radiación y número de Wolf, poseen una marcada relación entre sí en lo referente a la amplitud y el periodo, demostrando de esta manera que las manchas solares intervienen activamente modulando el clima de la región.

### III.- REFERENCIAS

- [1] Boletín Climatológico Anual. Departamento de Meteorología del Observatorio Juan Manuel Cagigal. Armada de Venezuela. 1989.
- [2] Galiana, Mingot. Larousse, Diccionario Ilustrado de las Ciencias. Pág. 897. Librairie Larousse. Paris, Francia. 1987
- [3] Carnahan, Luther & Wilkes, Applied Numerical Methods, John Wiley and Sons, 1969.
- [4] Guevara D. , J.M. Métodos de Estimación y Ajuste de Datos Climáticos. Consejo de Desarrollo Humanístico. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 1987.

# TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

PUNTA DE PIEDRAS (ISLA DE MARGARITA)

308

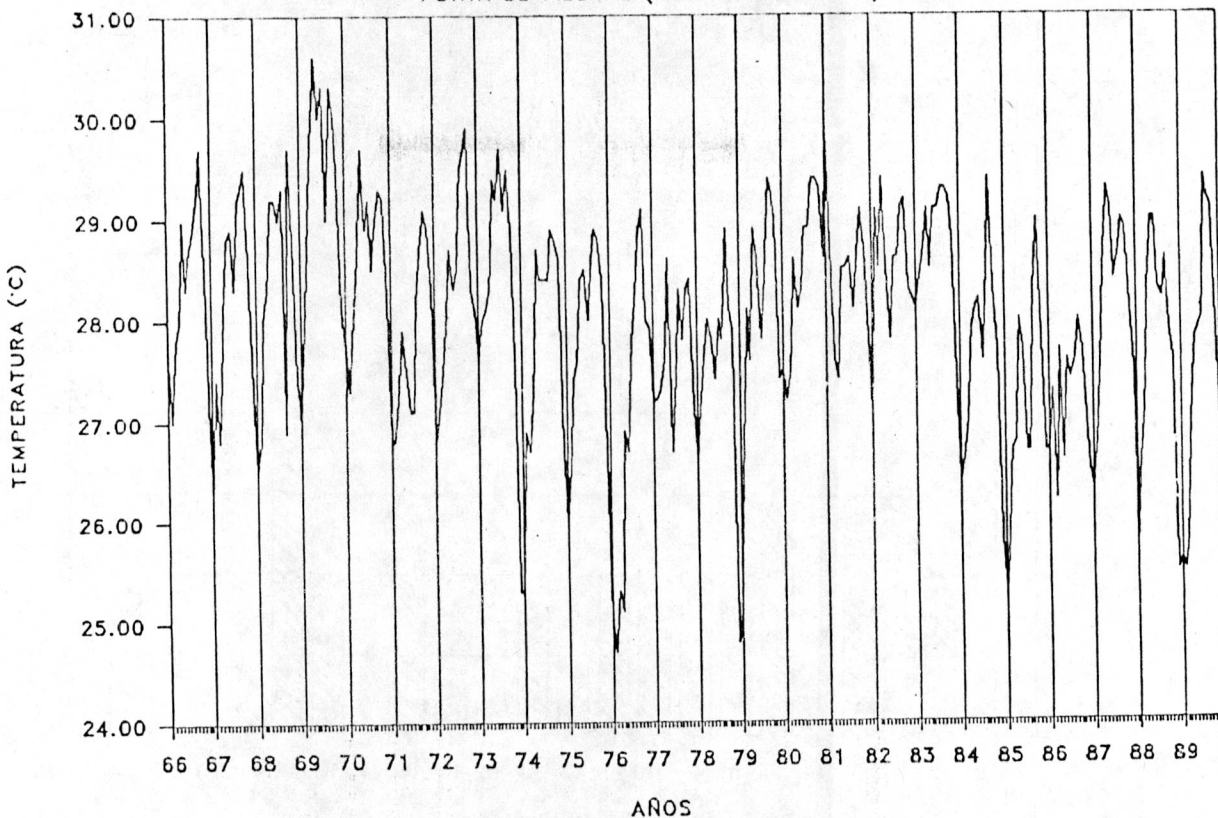


FIGURA No. 1

## TEMPERATURA MEDIA (°C), POR FOURIER

GRAFICANDO CON 6 Y 26 COEFICIENTES

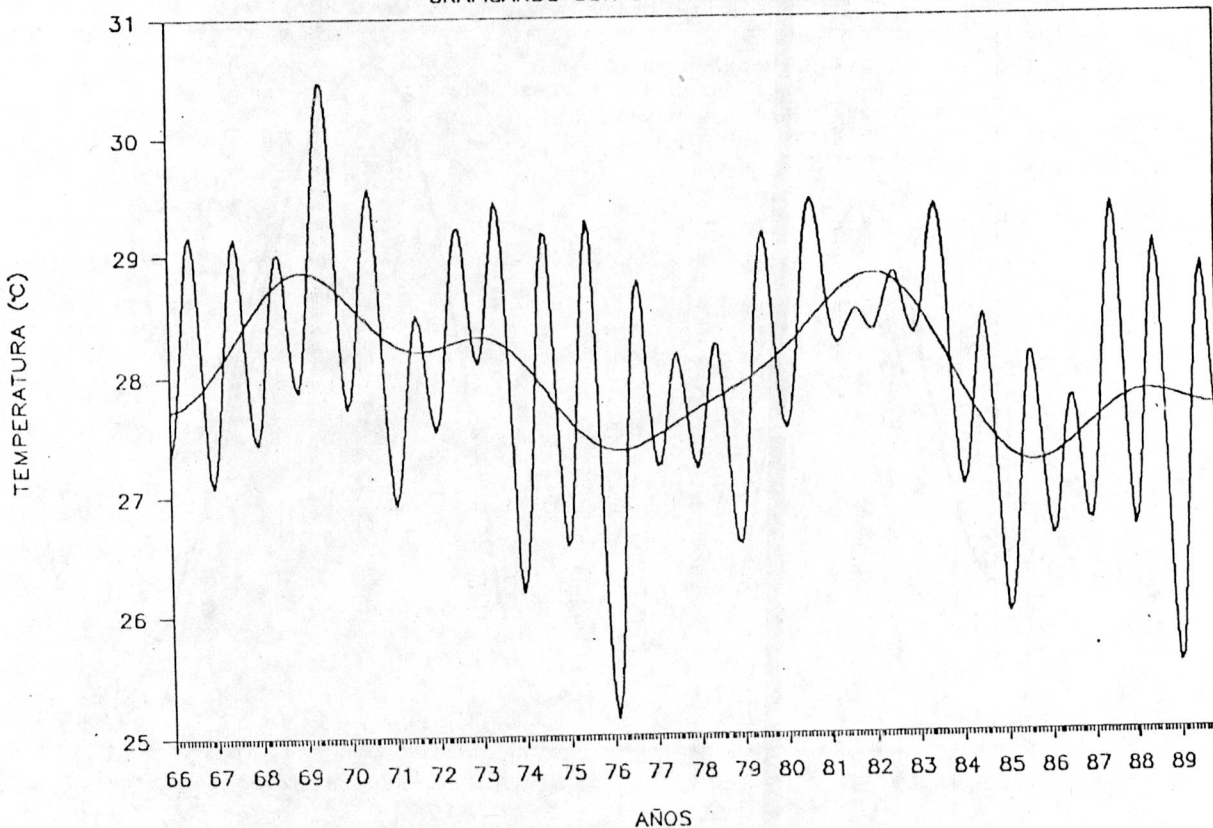


FIGURA No. 2

# MAGNITUD $\text{SQR}(A^2+B^2)$ , TEMPERATURA MEDIA

PUNTA DE PIEDRAS (ISLA DE MARGARITA)

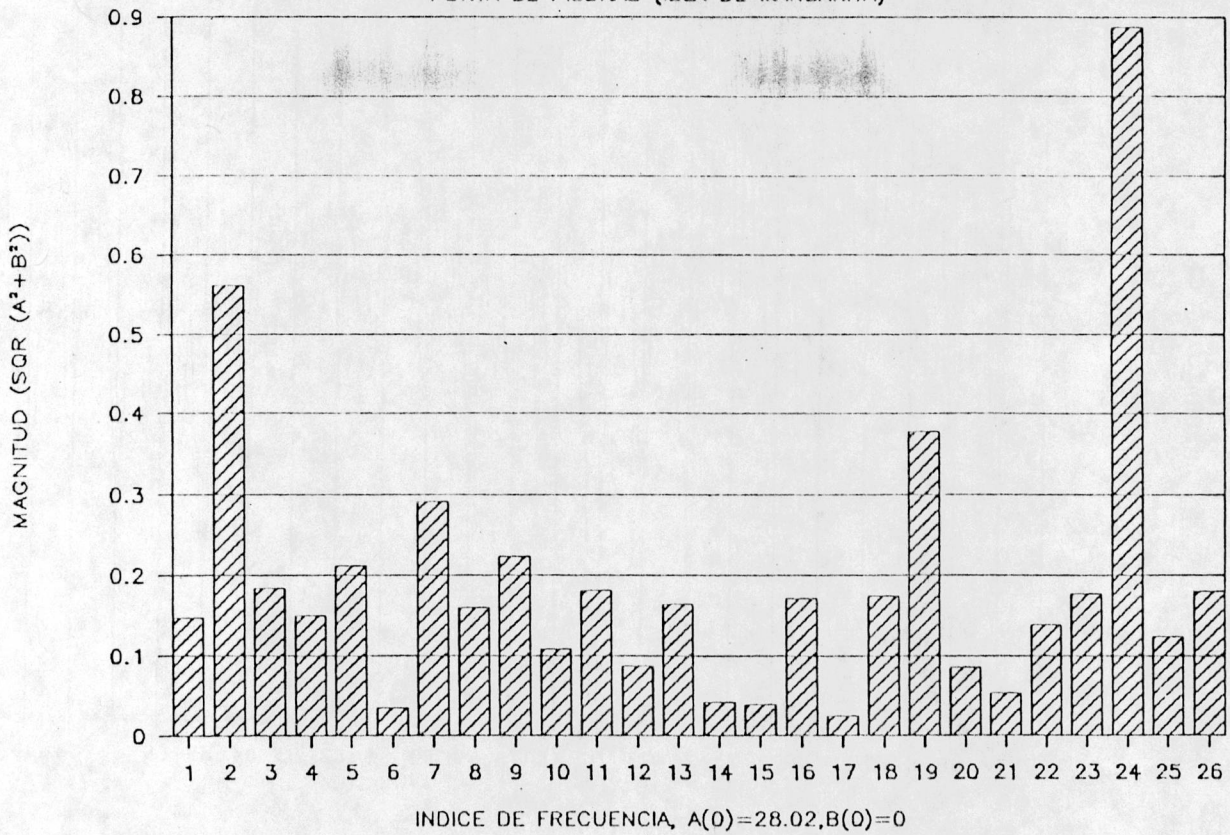
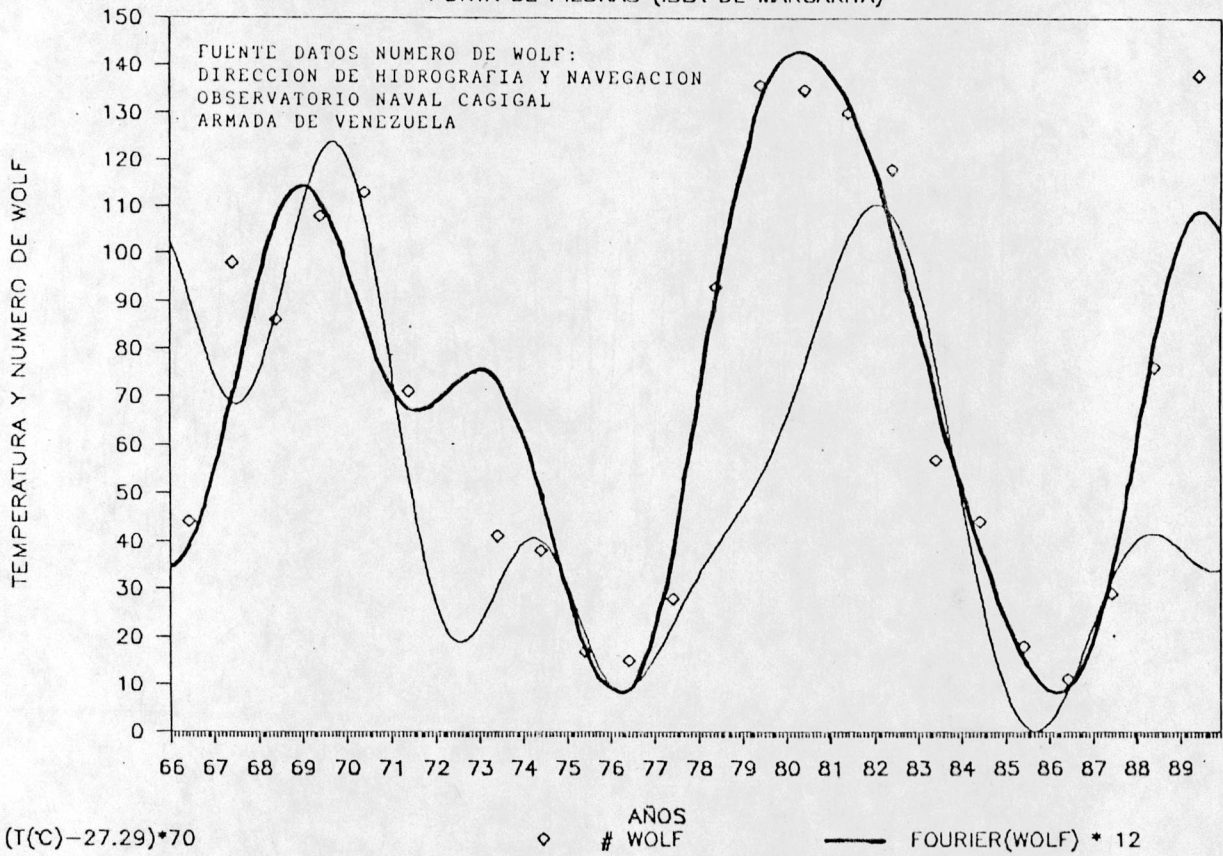


FIGURA No. 3

# NUMERO DE WOLF vs TEMPERATURA

PUNTA DE PIEDRAS (ISLA DE MARGARITA)



— (T(C)-27.29)\*70      AÑOS      FOURIER(WOLF) \* 12  
 ◇ # WOLF

FIGURA No. 4

# RADIACION TOTAL MENSUAL

PUNTA DE PIEDRAS (ISLA DE MARGARITA)

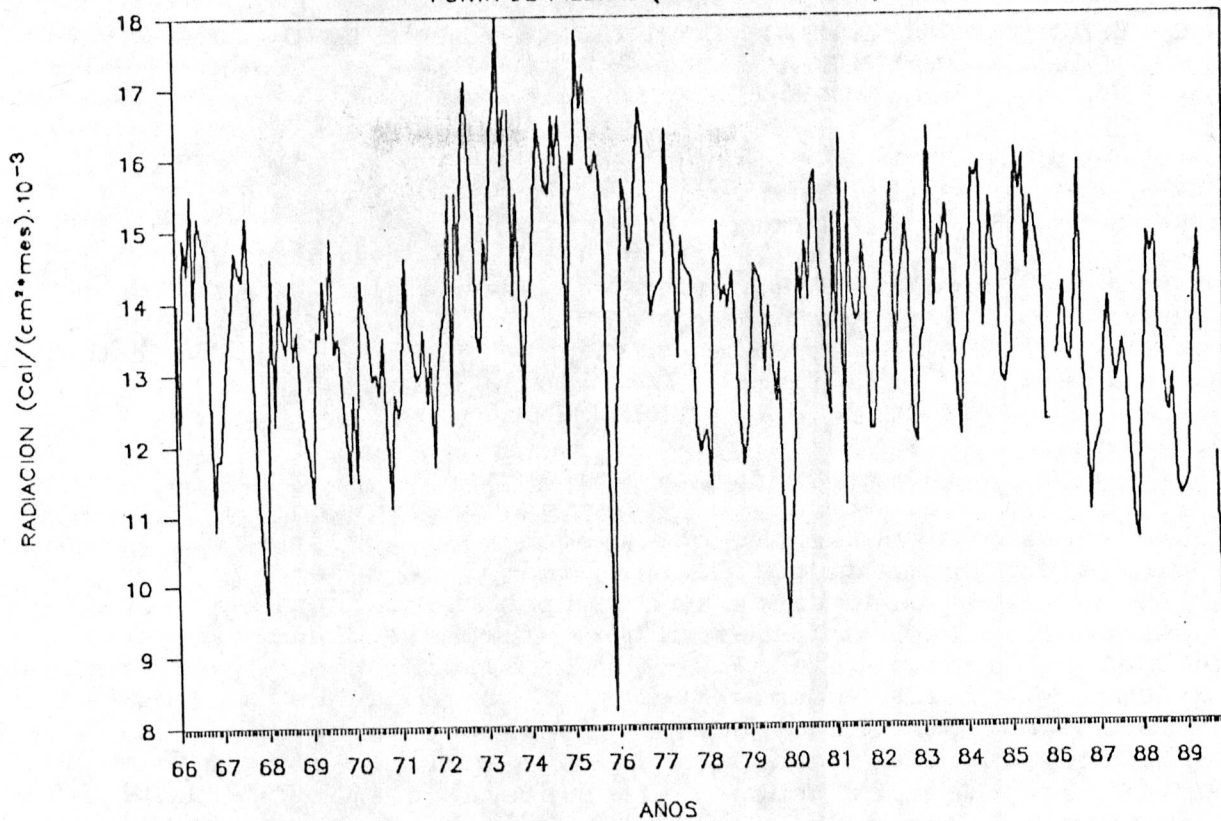


FIGURA No. 5

# MAGNITUD $\text{SQR}(A^2+B^2)$ , RADIACION TOTAL M.

PUNTA DE PIEDRAS (ISLA DE MARGARITA)

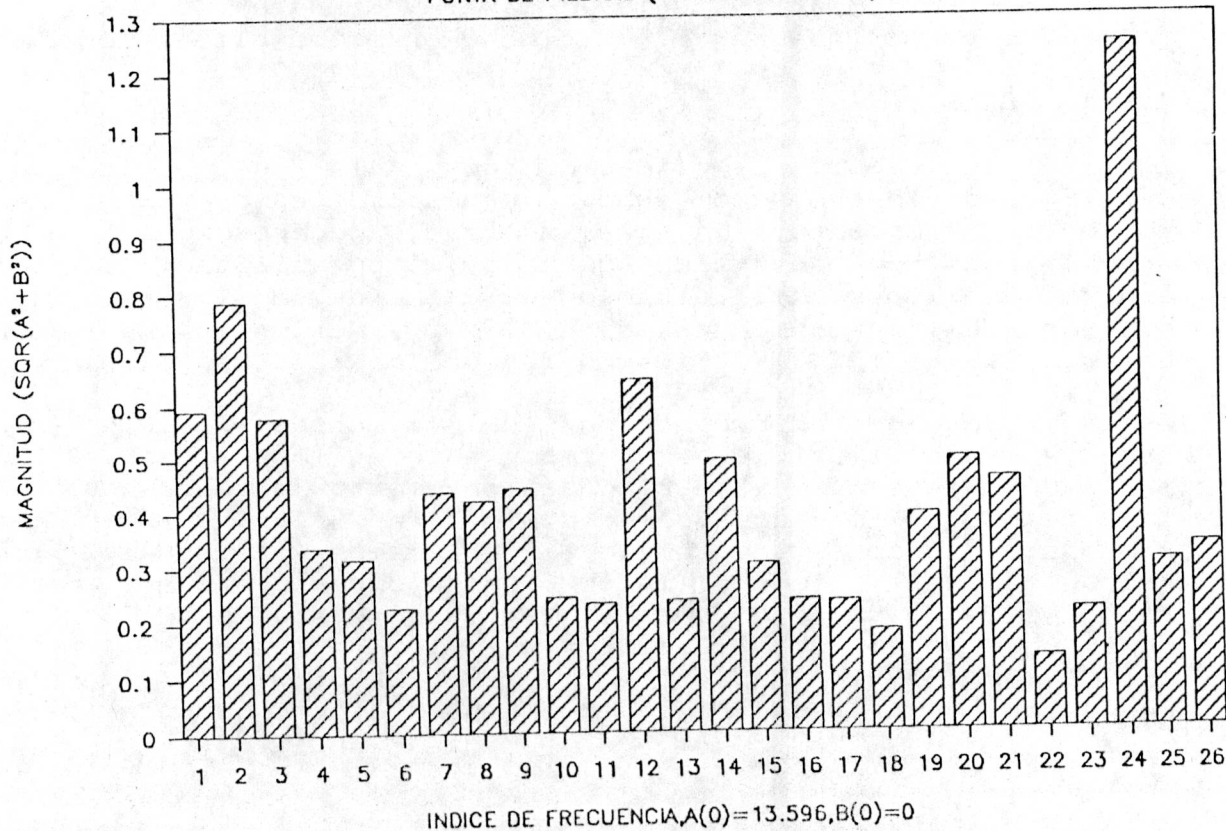


FIGURA No. 6

## ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO, POR EFECTO INVERNADERO, APLICADOS A VENEZUELA

Andressen, R. [1], Robock, A. [2], Acevedo, M. [3] y C. Maytín [4]

[1] Centro de Investigaciones Ecológicas de los Andes Tropicales - Universidad de Los Andes y Centro de Estudios Avanzados del Clima Tropical, Mérida. [2] Departamento de Meteorología, Universidad de Maryland, U.S.A. [3] Departamento de Geografía, Universidad del Norte de Texas, U.S.A. y Proyecto Pan-Earth. [4] Proyecto Pan-Earth: Venezuela.

### RESUMEN

La posibilidad de ocurrencia de cambios climáticos, inducidos por el incremento de CO<sub>2</sub> y otros gases invernaderos en la atmósfera, es un asunto que merece la mayor atención, tanto científica como de política ambiental. A objeto de estudiar los posibles impactos de los cambios climáticos, se requieren escenarios regionales de clima futuro. El desarrollo de los modelos tridimensionales de la circulación atmosférica (GCMs), particularmente a partir de la década de los años 1980, ha permitido diseñar técnicas para simular las condiciones climáticas del futuro y analizar el efecto de las distintas fuerzas sobre el sistema climático. En este trabajo, se genera un conjunto de escenarios de cambios de precipitación y temperatura, para Venezuela, en base a los resultados obtenidos de los modelos UKMO (*United Kingdom Meteorological Office*) para precipitación y GISS (*Goddard Institute for Space Studies*) para temperatura, y a la información aportada por el juicio de expertos climatólogos.

### 1.- INTRODUCCION

Los futuros cambios de clima, debidos a la intensificación del Efecto Invernadero, pueden producir grandes impactos sobre la humanidad. En este sentido, numerosos estudios científicos han advertido acerca de la posibilidad de que ocurra un importante cambio en el clima de la Tierra para mediados del próximo siglo. (U.S.A., National Research Council, 1979, 1983, 1987; World Meteorological Organization, 1986, Houghton et al., 1990).

A pesar de que las proyecciones del clima del futuro son relativamente imprecisas, es importante e impostergable la tarea de iniciar la evaluación de los efectos potenciales de los cambios climáticos sobre la biósfera y las actividades humanas; debido a los complejos mecanismos temporales de respuesta del sistema climático, entre otras razones. Este tipo de estudios se ha venido efectuando desde hace varios años en otros países (Véase por ejemplo, Smith and Tirpak, 1989, Kemp, 1991, Jung and Bach, 1985, UKDOE, 1991), y son necesarios para el desarrollo de respuestas tecnológicas y la

adopción de políticas destinadas a minimizar los impactos adversos.

A pesar de su ubicación latitudinal, muy cerca del ecuador, Venezuela puede ser vulnerable, de manera directa e indirecta, a los efectos de los cambios climáticos, consecuencia del Efecto Invernadero. Regiones importantes del país pueden ser afectadas, debido a sus condiciones climáticas y ecológicas actuales, a su localización geográfica y a los tipos de actividades económicas presentes. Entre los principales sectores que podrían ser afectados, estaría el agrícola, turismo, recreación y el industrial y manufacturero que depende de materia prima agrícola. La vegetación y la fauna, fundamentalmente los ecosistemas frágiles, son recursos sensibles a las variaciones del clima, al igual que los recursos hídricos. Las actividades y recursos costeros serían vulnerables, aunque en menor medida. Una discusión preliminar de la susceptibilidad de Venezuela a los cambios climáticos se presenta en los informes de los Talleres organizados por el Proyecto Pan Earth: Caso de Estudio Venezuela (Acevedo, 1989 y Harwell, 1990) y en otros trabajos (Robock et al., 1992).

Para la generación de escenarios de clima futuro, la técnica más idónea es el empleo de modelos tridimensionales de la circulación atmosférica (GCMs), que están basados en las leyes físicas que gobiernan la estructura y funcionamiento de la atmósfera, y que incluyen la interacción atmósfera-oceános. Una compilación del estado actual del desarrollo de estos modelos se presenta en los reportes de las sesiones de trabajo del Programa Mundial de Investigación Climática (WMO/ICSU: WCRP, 1991, 1992).

El procedimiento hasta ahora empleado en la generación de los escenarios consiste en ajustar los valores climatológicos observados de las estaciones individuales por las diferencias o tasas de cambio, obtenidas entre la situación de control (1 X CO<sub>2</sub>) y la situación de una doble concentración de dióxido de carbono (2 X CO<sub>2</sub>), generadas por el GCM para los cuadrados de grilla correspondientes a la región de interés. Este procedimiento ha sido empleado por varios autores en estudios de análisis de impactos de cambios climáticos sobre la agricultura (Rosenzweig, C., 1985; Adams, R. M., et al., 1990; Singh, B. and R. B. Stewart, 1991), la hidrología (Gleick, P. H., 1987), y estudios generales de impactos en países y regiones enteras (Smith and Tirpak, 1989).

En el presente trabajo se propone una técnica diferente para la generación de escenarios climáticos, basada en las ideas propuestas por Robock y colaboradores (Robock, 1989 y Robock et al., 1991). La Tabla 1 (tomado de Robock, et al., 1991) presenta los pasos necesarios para la determinación de impactos de cambios climáticos en las actividades humanas y la Figura 1 ilustra el esquema metodológico planteado para la generación de escenarios climáticos a ser usados en los estudios de evaluación de los impactos sobre la agricultura en Venezuela. (Andressen, R. y M. Acevedo, eds., 1991).

## 2.- COMPARACION DE LAS SALIDAS DE LOS GCMs CON EL CLIMA DE VENEZUELA

Uno de los pasos necesarios en la creación de escenarios climáticos, es la evaluación de la simulación climática regional, para la situación actual ( $1 \times \text{CO}_2$ ), de los modelos disponibles. Para el caso de Venezuela, se dispuso de las salidas de los modelos OSU (Oregon State University, Schlesinger, *et al.*, 1985), GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Manabe and Stouffer, 1980), GISS (Goddard Institute for Space Studies, Hansen *et al.*, 1983) y UKMO (United Kingdom Meteorological Office, Wilson and Mitchell, 1987). Se dividió el país en celdas geográficas de  $1^\circ$  de latitud  $\times$   $1^\circ$  de longitud y se seleccionaron nueve de estas celdas (Fig. 2). Los detalles de esta parte del trabajo están contenidos en los informes del Taller Internacional sobre Variabilidad y Cambios Climáticos en Venezuela y el Caribe (Harwell, 1990, Andressen, 1992). Como resultado de este análisis, se destacan los aspectos siguientes:

**Precipitación:** Los valores simulados de precipitación para  $1 \times \text{CO}_2$ , muestran que en regiones con clima seco, las cantidades de precipitación son relativamente aproximadas por los modelos OSU y GISS, y el régimen pluviométrico por el modelo GFDL. Para la región de los Llanos, donde existe un marcado régimen estacional de la precipitación, las simulaciones del modelo UKMO se presentan como las más aproximadas. Para la región al sur del Río Orinoco, son también las salidas del modelo UKMO las más aproximadas, tanto en cantidad como en régimen de precipitación. (Fig. 4 y Tabla 2).

Si se divide el país en dos grandes regiones, tomándose como criterio el meridiano  $70^\circ \text{ W.}$  (Barry *et al.*, 1990), observamos que el modelo GFDL es que más se aproxima a la variación estacional pluviométrica de tipo bimodal, característico al oeste de  $70^\circ \text{ W.}$ , mientras que para el caso del régimen unimodal, característico al este de  $70^\circ \text{ W.}$ , es el modelo UKMO. Los meses de inicio y ocaso del período lluvioso, en general parecen ser mejor simulados por el modelo GFDL.

**Temperatura:** En las regiones inter-tropicales la temperatura no es un elemento tan variable como la precipitación. Sin embargo, en un clima más cálido que el actual se debe esperar un incremento en la evaporación, lo que a su vez tiene efectos sobre la agricultura y recursos hídricos, particularmente en las regiones secas. De los modelos considerados, el GISS mostró las mejores aproximaciones a los valores de climatología de base de las estaciones utilizadas en la evaluación. (Tabla 3).

## 3.- SIMULACION REGIONAL Y ESTACIONAL DE CAMBIOS CLIMATICOS INDUCIDOS POR UNA CONCENTRACION DE $2 \times \text{CO}_2$

De acuerdo con el procedimiento antes señalado (Fig. 1), la distribución regional del cambio en la precipitación ( $2 \times \text{CO}_2 / 1 \times \text{CO}_2$ ) fue calculada sobre la base del modelo UKMO

(Tabla 4 ). El rango de los posibles cambios en la precipitación es de 0.7 (disminución) hasta 1.5 (aumento). Una disminución de la precipitación del mes de agosto, en el orden de 0.7 a 0.9, se presenta como una tendencia para las regiones con régimen unimodal. Agosto es, actualmente, un mes lluvioso importante para casi toda Venezuela. Los otros meses que podrían ser afectados por una disminución en la precipitación son enero y septiembre. Tendencias de incremento pluviométrico se señalan para abril y junio con valores proporcionales de 1.2 a 1.5. Geográficamente las áreas con posibles grandes cambios serían la región semi-árida al noroeste, la región norte-central, la región de los Llanos orientales y el extremo sureste del país.

La distribución regional de los cambios en la temperatura (2xCO<sub>2</sub> - 1xCO<sub>2</sub>) muestra que los posibles mayores incrementos tenderían a ocurrir en los Llanos y región del Sureste. Estacionalmente, octubre, seguido de abril, serían los meses con los cambios térmicos más altos y enero con el menor. (Tabla 5).

#### 4.- ESCENARIOS DE CAMBIOS CLIMATICOS PARA VENEZUELA

Los escenarios de cambios climáticos desarrollados en este trabajo, tienen como objetivo presentar una distribución estacional de temperatura y precipitación para Venezuela. Estos escenarios no deben considerarse como predicciones de un futuro cambio de clima, inducido por incrementos en la concentración de dióxido de carbono y otros gases invernadero en la atmósfera, como tampoco deben tratarse como probables eventos climáticos que ocurrirían debido a la variabilidad misma del sistema climático, sino que ellos deben ser tomados como patrones de cambios, auto-consistentes y plausibles, basados en la estructura y funcionamiento físico del clima. Las propuestas generales de estos escenarios se presentan en la Tabla 6, y el procedimiento básico para su aplicación debe incluir un buen número de años en la serie histórica del lugar considerado, de manera que haya un rango significativo de años secos y húmedos. Los pasos a seguir para la aplicación de estos escenarios, para evaluar posibles impactos sobre la agricultura y los recursos hídricos, están descritas en los trabajos de Robock, *et al.* (1992) y Andressen y Acevedo, eds. (1991).

#### 5.- CONCLUSIONES

El uso de modelos climáticos tridimensionales GCMs, constituyen la herramienta más idónea, desde el punto de vista científico, para la generación de escenarios de cambios climáticos. Sin embargo, dadas las deficiencias de estos modelos en simular los climas regionales actuales, a pesar de que los GCMs simulan relativamente bien la variabilidad del clima a escala global, resulta altamente riesgoso tomar los valores directamente de los GCMs y aplicarlos como escenarios. La técnica de generación de escenarios presentada en este

trabajo, y que está basada en las propuestas de los trabajos de Robock (1989) y Robock y colaboradores (Robock, *et al.*, 1991), además de fundamentarse en los resultados de aquellos modelos que mejor simulen el clima actual, incluye elementos importantes de la variabilidad del clima.

Para el caso de Venezuela, los escenarios propuestos indican que para una concentración de  $2 \times \text{CO}_2$ , la temperatura experimentarían un incremento promedio entre 1.5 y 4.0 °C, valores que estarían de acuerdo con el rango dado por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1986) y con el del Panel Intergubernamental de Cambios Climáticos (IPCC, 1990, 1992). Estos escenarios de temperatura presentan valores menores que los suministrados por Robock, *et al.* (1991, 1992), ya que se generaron en base al modelo GISS y no al UKMO. Esto concuerda más con los resultados de la mayor parte de autores que señalan que el mayor incremento del calentamiento superficial ocurriría en las altas latitudes y el menor cerca del ecuador (MacCracken, M. C. and M. I. Budyko, eds., 1990).

Para la precipitación, se mantienen los cambios propuestos en los trabajos anteriores (Robock, A. *et al.*, 1991, 1992), y que incluyen tres alternativas: 0 % (sin variación), 20 % y 40 % de incremento.

Finalmente, los procedimientos específicos para aplicar estos escenarios necesitan mayor elaboración. Ello requerirá de un mejor conocimiento de los aspectos regionales de la variabilidad del clima en Venezuela.

## BIBLIOGRAFIA

- U.S.A. National Research Council, 1979. *Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment*. National Academy Press, Washington, D.C.
- U.S.A. National Research Council, 1983. *Changing Climate*. National Academy Press, Washington, D.C. 496 pp.
- U.S.A. National Research Council, 1987. *Current Issues in Atmospheric Change*. National Academy Press, Washington, D.C. 39 pp.
- World Meteorological Organization, 1986. *Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and Other Greenhouse Gases in Climatic Variations and Associated Impacts, Villach, Austria, 5 - 15 October 1985*. World Climate Programme Report No 661, WMO, Geneva, Switzerland, 78 pp.
- Houghton, J.T., Kenkins, G.J. and J.J. Ephraïms, Eds., 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Smith, J.B. and D.A. Tirpak, Eds., 1989. *The Potential Effects of Global Climate Change on the United States*. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 413 pp.
- Kemp, D.D., 1991. The Greenhouse Effect and Global Warming: A Canadian Perspective. *J. of the Geographical Association*, 76, 331: 121-130.
- Jung, M.J. and W. Bach, 1985. GCM-Derived Climatic Change Scenarios Due to a CO<sub>2</sub>-Doubling Applied for the Mediterranean Area. *Arch. Met. Geoph. Bioclim., Ser. B*, 31: 327-339.

- United Kingdom Department of the Environment, 1991. *The Potential Effects of Climate Change in the United Kingdom*. HMSO. 124 pp.
- Acevedo, M. 1989. Proyecto PAN-EARTH: Caso de Estudio Venezuela. Reportes de los Minitalleres efectuados en Caracas y Mérida. Mayo de 1989.
- Harwell, M., 1990. *PAN-EARTH/CEACT International Workshop on Climate Variability and Climate Change in Venezuela and the Caribbean Region. Report*. Mérida, Venezuela: 23-27 April, 1990.
- Robock, A., Andressen, R., Acevedo M. and R. Jaimez, 1992. *General Circulation Model-Based Scenarios of Future Climate for Venezuela*. (Submitted to *Climatic Change*).
- International Council of Scientific Unions/World Meteorological Organization: World Climate Research Programme (ICSU/WMO-WCRP), 1991. *Global Climate Modelling*. WCRP-55 WMO/TD No 411 27 pp.
- ICSU/WMO-WCRP, 1992. *Report of the Second Session of WCRP Steering Group on Global Climate Modelling*.
- Rosenzweig, C., 1985. Potential CO<sub>2</sub>-Induced Climate Effects on North American Wheat Producing Regions. *Climatic Change*, 7, 4: 367-389.
- Adams, R.M., Rosenzweig, C., Peart, R.M., Ritchie, J.T., McCarl, B.A., Glycer, J.D., Curry, R.B., Jones, J.W., Boote, K.J. and H. Allen, Jr., 1990. Global Climate Change and U.S. Agriculture. *Nature*, 345: 219-224.
- Singh, B. and R.E. Stewart, 1991. Potential Impacts of a CO<sub>2</sub>-Induced Climate Change Using the GISS Scenario on Agriculture in Quebec, Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 35: 327-347.
- Gleick, P.H., 1987. Regional Hydrological Consequences of Increases in Atmospheric CO<sub>2</sub> and Other Trace Gases. *Climatic Change*, 10, 2: 137-160.
- Robock, A., 1989. GCM Greenhouse Warming Scenarios for Africa. Paper presented at *PAN-EARTH Workshop on Effects of Climate Change with Emphasis on Sub-Saharan Africa*. Saly, Senegal, Sept. 11-15, 1989.
- Robock, A., Turco, R.P., Harwell, M.A., Ackerman, T.P., Andressen, R., Chang, H. and M.V.K. Sivakumar, 1991. Use of General Circulation Model Output in the Creation of Climate Change Scenarios for Impact Analysis. (Submitted to *Climatic Change*).
- Andressen, R. y M. Acevedo, Eds., 1991. *Estudio Preliminar de los Posibles Impactos de los Cambios Climáticos en Venezuela*. Caracas: MARNR-Grupo Inter-Institucional de Cambios Climáticos. Informe Final. 217 pp.
- Schlesinger, M.E., Gates, W.L. and Y.J. Han, 1985. The Role of the Ocean in CO<sub>2</sub>-Induced Climate Change. Preliminary Results from the OSU Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Model. In J.C.J. Nihoul, ed. *Coupled Ocean-Atmosphere Models*. Elsevier Science Publishers, B.V. Amsterdam pp. 447-478.
- Manabe, S. and R.J. Stouffer, 1980. Sensitivity of a Global Climate Model to an Increase of CO<sub>2</sub> Concentration in the Atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 85: 5529-5554.
- Hansen, J., Russell, G., Rind, D., Stone, P., Lacis, A., Lebedeff, S., Ruedy, R. and L. Travis, 1983. Efficient Three-Dimensional General Circulation Models for Climate Studies. Model I and II. *Non. Mea. Rev.*, 111: 609-662.



- Wilson, C.A. and J.F.B. Mitchell, 1987. Simulated Climate and CO<sub>2</sub>-Induced Climate Change over Western Europe. *Climatic Change*, 10: 11-42.
- Andressen, R. ed., 1992. *Taller Internacional sobre Variabilidad y Cambios Climáticos en Venezuela y El Caribe. Memorias*. Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias (En prensa).
- Barry, R.G., Riehl, H.R. and R. Pulwarty, 1990. *Synoptic-Climatological Studies of Precipitation Regimes in Venezuela*. CIRES, Univ. of Colorado. National Science Foundation. Final Report 27 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990. *Scientific Assessment of Climate Change*. World Meteorological Organization/United Nations Environment Programme, Geneva. Cambridge Univ. Press.
- I.P.C.C., 1992. *Supplement Science Assessment*. Meeting of the Science Assessment Working Group of the IPCC, Guangzhou, China 13-15 January, 1992.
- McCracken, M.C. and M.I. Budyko, eds., 1990. *Prospects for Future Climate: A Special US/USSR Report on Climate and Climate Change*. Chelsea, Michigan: Lewis Publishers, Inc. 270 pp.

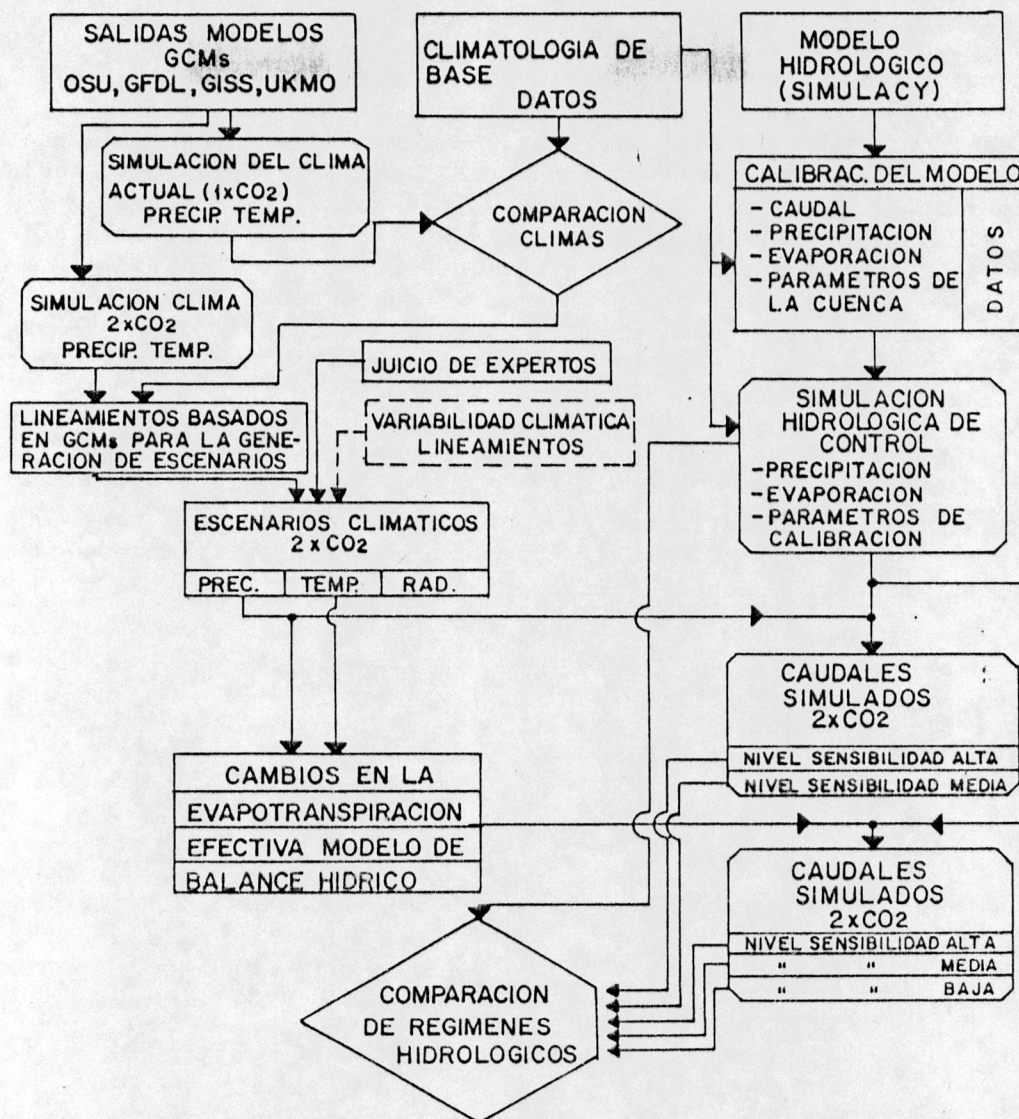


FIG. 1.- ESQUEMA TEORICO PARA EL ESTUDIO DE LOS IMPACTOS DE LOS CAMBIOS CLIMATICOS SOBRE LAS CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE UNA CUENCA.

TABLA 1. ESCENARIOS DE CAMBIOS CLIMATICOS PARA VENEZUELA EFECTO INVERNADERO ( 2 x CO2 )

NIVEL DE SENSIBILIDAD	PERIODO	CAMBIO EN TEMP. °C			CAMBIO EN LA MEDIA PRECIPITACION %
		MAX.	MIN.	MEDIA	
ALTA	Seco	+4,5	+5,5	+5,0	0
	Húmedo	+2,5	+4,5	+3,5	+40
MEDIA	Seco	+3,0	+4,0	+3,5	0
	Húmedo	+2,0	+3,0	+2,5	+20
BAJA	Seco	+2,0	+2,0	+2,0	0
	Húmedo	+2,0	+2,0	+2,0	0

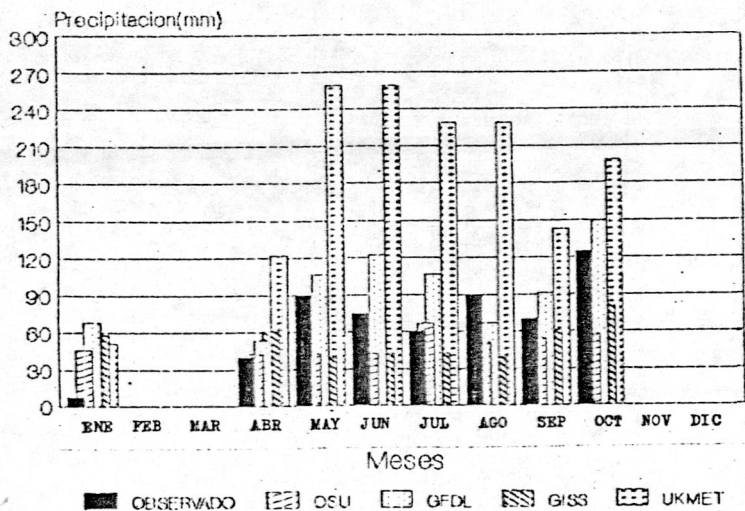
Mes Seco= Mes con precipitación inferior a 50 mm.



FIG. 2. CELDAS GEOGRAFICAS SELECCIONADAS PARA LA EVALUACION DE LOS GCMs

FIG. 3-A

COMPARACION ENTRE LA PRECIPITACION OBSERVADA Y LA SIMULADA POR LOS MODELOS OSU, GFDL, GISS Y UKMET  
 CELDA 1- MARACAIBO  
 (LAT. 10-11 N. LONG. 71-72 W.)



COMPARACION ENTRE LA PRECIPITACION OBSERVADA Y LA SIMULADA POR LOS MODELOS OSU, GFDL, GISS Y UKMET  
 CELDA 6- GUARICO  
 (LAT. 6-9 N. LONG. 66-67 W.)

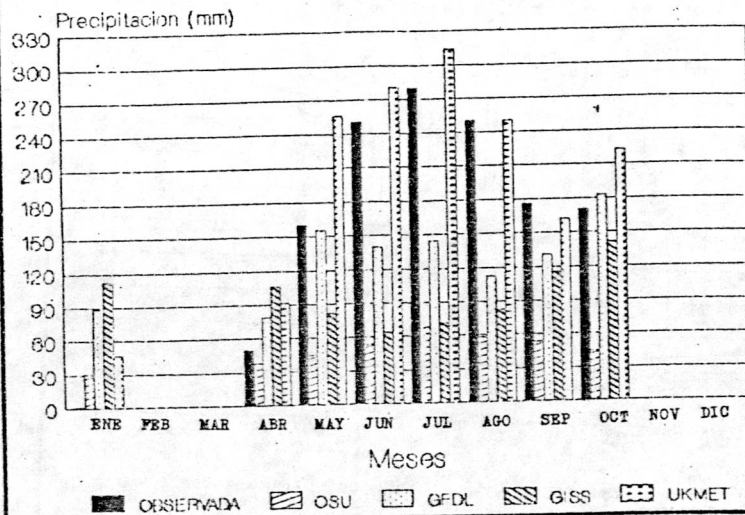


FIG. 3-C

COMPARACION ENTRE LA PRECIPITACION OBSERVADA Y LA SIMULADA POR LOS MODELOS OSU, GFDL, GISS Y UKMET  
 CELDA 9- SANTA ELENA  
 (LAT. 4-5 N. LONG. 61-62 W.)

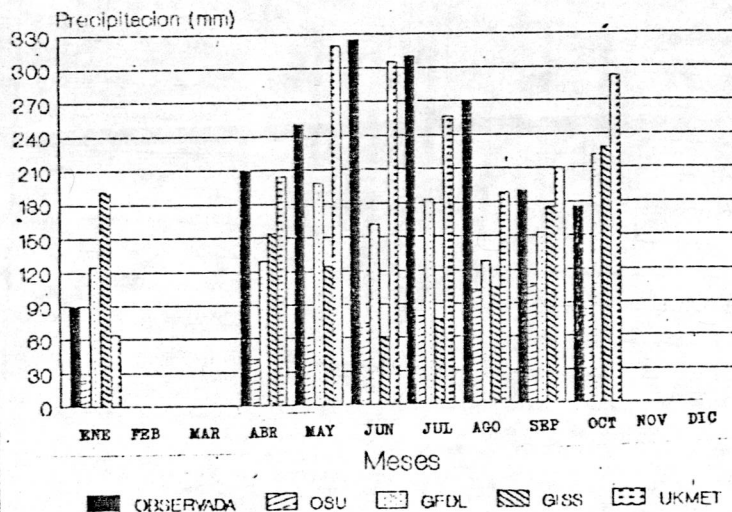
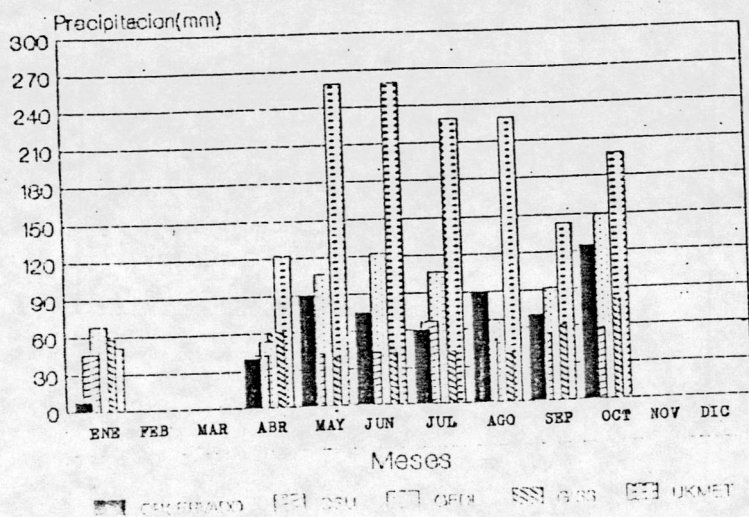




FIG. 2. CELDAS GEOGRÁFICAS SELECCIONADAS PARA LA EVALUACION DE LOS GCMs

FIG. 3-A  
COMPARACION ENTRE LA PRECIPITACION OBSERVADA Y LA SIMULADA POR LOS MODELOS OSU, GFDL, BISS Y UKMET  
CELDA 1- MARACAIBO  
(LAT. 10-11 N. LONG. 71-72 W.)



COMPARACION ENTRE LA PRECIPITACION OBSERVADA Y LA SIMULADA POR LOS MODELOS OSU, GFDL, BISS Y UKMET  
CELDA 6- BUARICO  
(LAT. 8-9 N. LONG. 66-67 W.)

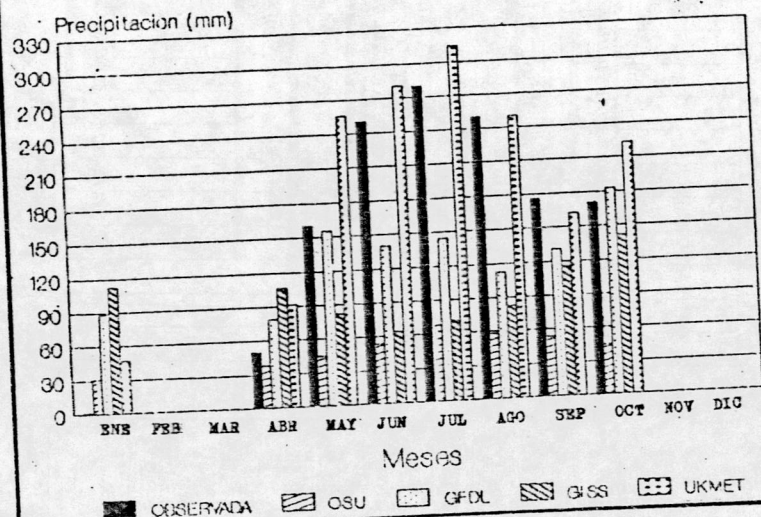


FIG. 3-B  
COMPARACION ENTRE LA PRECIPITACION OBSERVADA Y LA SIMULADA POR LOS MODELOS OSU, GFDL, BISS Y UKMET  
CELDA 9- SANTA ELENA  
(LAT. 4-5 N. LONG. 61-62 W.)

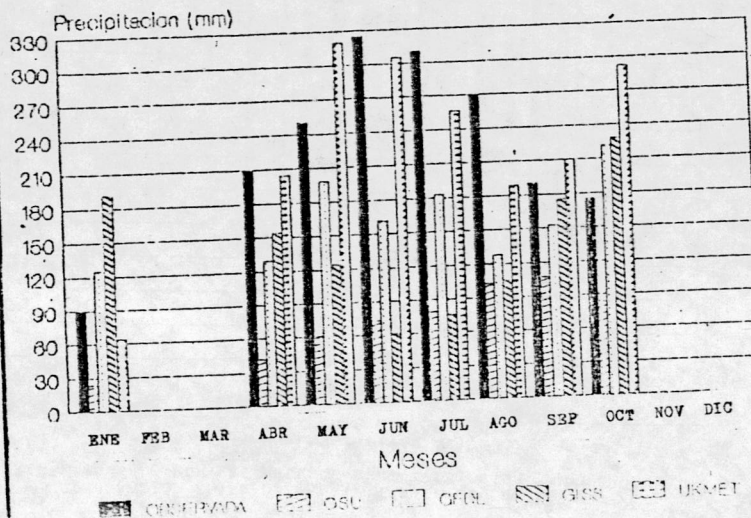


TABLA 2.- MODELOS QUE MEJOR SIMULAN LA CANTIDAD Y REGIMEN DE PRECIPITACION EN CADA CELDA GEOGRAFICA

AREA GEOGRAFICA	CANTIDAD PRECIPITACION	REGIMEN ESTACION LLUVIOSA
1.- Maracaibo	OSU	GFDL
2.- Paraguana	GISS	GFDL
3.- Caracas	UKMO	OSU
4.- Barinas	UKMO	UKMO
5.- Acarigua	UKMO	UKMO
6.- Guárico	UKMO	OSU
7.- Maturín	OSU/GFDL	GFDL
8.- Pto Ayacucho	UKMO	UKMO
9.- Sta Elena	UKMO	UKMO

TABLA 4.- CAMBIOS DE PRECIPITACION DE ACUERDO AL MODELO UKMO (PROPORCION DE PRECIPITACION PARA 2 x CO2/ 1 x CO2)

CELDA GEOGRAFICA	ENE	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
1. Maracaibo	1.0	1.0	1.0	1.1	1.4	0.8	1.2	1.1
2. Paraguana	1.0	1.0	1.0	1.3	1.5	0.8	1.2	1.1
3. Caracas	1.0	1.3	1.0	1.4	1.3	0.8	1.0	1.1
4. Barinas	1.0	1.1	1.0	1.2	1.3	0.9	0.9	1.1
5. Acarigua	0.9	1.1	1.0	1.2	1.3	0.9	1.0	1.1
6. Guárico	0.8	1.3	1.1	1.2	1.2	0.9	0.9	1.1
7. Maturín	0.9	1.5	1.3	1.5	1.2	0.9	0.9	1.2
8. P. Ayacucho	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	0.8	0.9	1.0
9. Sta Elena	0.9	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.7	1.0

TABLA 3.- MODELOS QUE MEJOR SIMULAN LA TEMPERATURA MEDIA DE ENERO, ABRIL, JULIO Y OCTUBRE PARA CADA AREA GEOGRAFICA

CELDA GEOGRAFICA	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	MODELO CANDIDATO PARA LA CELDA
1. Maracaibo	GISS	GISS	GISS	GISS	GISS
2. Paraguana	GISS	GISS	GISS	GISS	GISS
3. Caracas	GISS	GISS	UKMO/GISS	GISS	GISS
4. Barinas	GISS	UKMO	UKMO	UKMO	UKMO
5. Acarigua	GISS	UKMO	UKMO	GISS	UKMO/GISS
6. Guárico	GISS	UKMO	UKMO	UKMO	UKMO
7. Maturín	GISS	UKMO/GISS	GISS	GISS	GISS
8. P. Ayacucho	GISS	GISS	UKMO	GISS	GISS
9. Sta Elena	GISS	UKMO	UKMO	GISS	UKMO/GISS

TABLA 5.- CAMBIOS DE TEMPERATURA DE ACUERDO AL MODELO GISS (DIFERENCIA DE TEMPERATURA 2xCO2-1xCO2)

CELDA GEOGRAFICA	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE
1. Maracaibo	3.1	3.0	3.0	3.5
2. Paraguana	3.0	3.0	3.0	3.5
3. Caracas	3.0	3.0	3.0	3.5
4. Barinas	2.9	3.2	3.0	3.4
5. Acarigua	2.9	3.1	3.0	3.5
6. Guárico	3.1	3.4	3.0	3.7
7. Maturín	3.1	3.4	3.2	3.5
8. Pto. Ayacucho	3.1	3.6	3.3	3.5
9. Sta Elena	3.6	3.5	3.6	4.1

TABLA 6.- ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO PARA VENEZUELA PARA 2 x CO2

SENSIBILIDAD	ESTACION	TEMPERATURA °C		PRECIPITACION
		MAX.DIA	MIN.DIA	PORCENTAJE
A L T A	SECA	3.5	4.5	0
	LLUVIOSA	3.0	3.0	+ 40
M E D I A	SECA	2.0	3.0	0
	LLUVIOSA	1.5	2.0	+ 20
B A J A	SECA	1.5	1.5	0
	LLUVIOSA	1.5	1.5	0

IV ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA, AGUA Y TIERRA  
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

ANALISIS DE LOS INDICES ISOIN, SHOWALTER Y "K"  
PARA LA PREDICCION DE LLUVIAS Y TORMENTAS EN EL AREA DE MARACAY

MT2 (Av) Cuevas N., Luis R. y ST2 (Av) Espinoza C., Pablo

1. RAZON O JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

A comienzos de la década de los 80, en la Sección de Meteorología Aplicada se comenzaron a utilizar los índices Showalter y de Whitting (K), con fines de disponer de una herramienta más para la predicción a corto plazo (12 a 24 horas) de precipitaciones y tormentas, posteriormente a mediados de 1984 se introdujo el índice Isoin de Castejón, con fines similares a los anteriormente citados; sin embargo, el uso de estos índices fue irregular y los pronosticadores que los usaron, diferían en cuanto a su grado de efectividad, pues sólo se guiaban por los valores asignados por los estudios hechos en latitudes medias.

En razón a lo anteriormente expuesto, nos dedicamos a realizar un estudio sobre los 3 índices antes mencionados, a fin de poder verificar, si eran confiables, en que medida y si necesitaban de ajustes, pues los valores para regiones tropicales aún no estaban establecidos; aunque existen estudios del funcionamiento de varios índices realizados en el continente Africano y la India, difícilmente se podrían inferir para Venezuela, ya que las condiciones geográficas y las dinámico-atmosféricas no son las mismas; por lo tanto con este estudio y utilizando una muestra más o menos representativa se exploró un campo no medido, con el fin de que pudiera determinarse con más exactitud, si estos índices realmente se pueden usar como indicadores de precipitaciones y tormentas aquí en Venezuela.

1.0 OBJETIVOS O PROPOSITOS DE LA INVESTIGACION:

Este estudio tiene como objetivo general evaluar el grado de confiabilidad de los índices: Isoin de Castejón, Showalter y de Whitting (K) para ser usados como predictores a corto plazo, en el pronóstico de precipitaciones y tormentas, y como objetivo específico obtener el ajuste de valores para los diferentes índices en el área de Maracay.

2 BREVE REFERENCIA SOBRE LOS INDICES ISOIN, K Y SHOWALTER:

2.0 INDICE ISOIN DE CASTEJON:

Este índice se comenzó a utilizar en España, para evaluar las precipitaciones y las tormentas de verano (no frontales) y se basa en las siguientes condiciones:

a) Advecciones de aire húmedo en superficie

Un aumento en superficie del punto de rocío supone un desplaza-

miento de la equisaturada hacia la derecha, lo cual se traduce en un descenso del nivel de condensación convectivo, aumentando la energía positiva del área de inestabilidad, debido a la nueva evolución de la parcela de aire por la pseudo-adiabática.

b) Advecciones de aire frío en la altura

El descenso de temperatura a nivel de 500 mbs, supone un desplazamiento de la curva de evolución hacia la izquierda, lo cual implica un incremento de la inestabilidad de la columna de aire. Por tanto el índice Isoin de Castejón queda traducido como:

$$I = T_{ds} - T_{500}$$

siendo  $T_{ds}$  la temperatura de punto de rocío en superficie y  $T_{500}$ , la temperatura a nivel de 500 mbs.

### 2.1 Índice K.

El índice combina aritméticamente las diferencias de temperaturas entre 850 y 500 mbs, el punto de rocío en 850 mbs (medida directa de la humedad en los niveles bajos) y la depresión del punto de rocío en 700 mbs (explorando así la humedad de las capas medias); el énfasis del índice K, es reflejar la penetración vertical de la humedad desde los niveles bajos, la cual es esencial para la formación de tormentas, en consecuencia, el índice viene dado por la fórmula:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700})$$

siendo  $T_{850}$ ,  $T_{500}$  y  $T_{700}$ , las temperaturas ambiente a 850, 500 y 700 mbs respectivamente, y  $T_{d850}$  y  $T_{d700}$  las temperaturas del punto de rocío a 850 y 700 mbs respectivamente.

### 2.2 Índice Showalter.

Este índice estima el potencial de inestabilidad, de una capa cuyo espesor va desde los 850 mbs, hasta los 500 mbs, elevando forzosamente una parcela de aire hasta los 500 mbs, siendo solo función de 850 y 500 mbs, quedando definido como:

$$SW = T_e - T_{500}$$

siendo  $T_e$  la temperatura de la parcela de aire, y  $T_{500}$  la temperatura del aire a 500 mbs.

Para hallar el valor del índice Showalter, se ubica sobre un diagrama termodinámico (donde anteriormente ha sido trazada la curva de estado), el nivel de condensación por ascenso forzado en 850 mbs (punto Rossby), evolucionando a partir de éste, por la pseudo-adiabática hasta los 500 mbs, observando posteriormente si la temperatura de la parcela, quedó a la derecha o a la izquierda de la temperatura del aire en 500 mbs.

### 2.3 Población y muestra.

#### 2.3.1 Población.

Para realizar el estudio del comportamiento de los índices Isoin, K y Showalter, se seleccionó a la estación meteorológica ubicada en la Base Escuela Mariscal Sucre, con sede en Boca de Río Maracay, cuyas coordenadas geográficas son: 10°15'00" latitud Norte y 67°39'00" longitud Oeste, con una elevación de 436 metros sobre el nivel del mar.

La razón para la elección de esta estación meteorológica, es que presenta un registro climatológico continuo desde el año 1951, además de que ese mismo año, se realizó el primer lanzamiento de radiosonda

para la evaluación de la atmósfera superior.

### 2.3.2 Muestra

Dentro de la serie cronológica de precipitación, correspondiente a la estación meteorológica antes citada, se tomó una muestra de 10 años, que van desde 1972 hasta 1981 (ambos años incluidos) y que de la muestra resultan los de menor y mayor pluviosidad registrados hasta ahora, los restantes años se aproximan a la media anual, cuyo valor es 920 mm.

De este período (1972/1981) se tomaron los registros climatológicos diarios del número de días de precipitación y número de días con tormentas, también se extrajeron los registros de los lanzamientos de radiosonda, así como los diagramas termodinámicos elaborados con los sondeos de las 8 am (12:00 TUC), a fin de hacerles control de calidad y calcular en forma diaria y directa los tres índices, ya que durante este período no se habían comenzado a llevar los registros de los mismos; el total de sondeos revisados fue de 3.220, o sea, el 87,7% de la muestra de 10 años, el 12,3% restante, no se pudo evaluar por múltiples causas: pérdida de material en los archivos, equipos en mantenimiento, lanzamientos defectuosos, etc.

### 2.6 Cálculo de las probabilidades de precipitación y tormentas en base a los índices de inestabilidad atmosférica.

Los datos de los índices Isoin, Showalter y K, fueron ajustados a la distribución normal, tipificándose posteriormente la variable para cada rango, obteniendo así la probabilidad de ocurrencia; en el caso de las probabilidades de precipitación y tormentas, se utilizó el método de probabilidad simple.

Para relacionar las variables estudiadas, las mismas fueron tratadas como sucesos independientes para poder evaluar los índices y su relación con las lluvias y tormentas, tanto separadamente, como en forma simultánea.

Llamemos  $P_i(k)$  a la probabilidad de que dé un valor cualquiera del índice K,  $P_p$  a la probabilidad de precipitaciones y  $P_r$  a la probabilidad de tormentas, entonces tendremos que:

$$P_1 = (P_i(k) + P_p) - (P_i(k) \times P_p)$$

siendo  $P_1$  la probabilidad de que ocurran lluvias y el valor del índice K, pero no simultáneamente.

Igual para calcular la probabilidad de las tormentas:

$$P_2 = (P_i(k) + P_r) - (P_i(k) \times P_r)$$

Si queremos obtener la simultaneidad de las lluvias y las tormentas, en un rango determinado del valor del índice K, basta realizar el producto  $P_1 \times P_2 = P_3$

#### 2.4.1 Ejemplo. (índice Showalter)

$P_i(sw) = 0.27$  (desde 0.0 hasta +1.0°C)

$P_p = 0.58$

$P_r = 0.43$

$$P1=(0.27+0.58)-(0.27 \times 0.58)=0.85-0.16=0.69=69\%$$

$$P2=(0.27+0.43)-(0.27 \times 0.43)=0.70-0.12=0.58=58\%$$

$$P3=(0.69 \times 0.58)=0.40=40\%$$

Es decir, que las probabilidades de que con el índice de Showalter (rango de valores desde 0.1 hasta +1°C) se produzcan lluvias es 69%, tormentas 58% y ambos sucesos simultáneamente 40%.

## 2.5 Presentación y análisis de los resultados.

### 2.5.1 Probabilidades de lluvias y tormentas en base a los índices evaluados en el periodo 1972/1981.

#### 2.5.2 Índice Isoin.

En el anexo número 1 se presentan los valores de Isoin (marca de clase intermedia) y la probabilidad de lluvias y tormentas expresadas en porcentaje, así como también la simultaneidad de ambos fenómenos; podemos observar que a partir del valor 23.5°C, la probabilidad de lluvias es del 52%, la de que se produzcan tormentas es 40% y que ambos sucesos ocurran simultáneamente 21%; estas probabilidades alcanzan su máximo (75%) cercanos al valor de 29°C, los datos mayores de 29°C no resultan ser muy confiables, debido a que la frecuencia de aparición a partir de ese rango es sensiblemente menor, así como también valores inferiores a 22°C, dan escasas probabilidades, tanto de tormentas como de lluvias (cerca del 20%).

#### 2.5.3. Índice K.

En el anexo 2, se presentan de igual forma los valores de dicho índice y su relación en porcentaje con la probabilidad de lluvias y tormentas, podemos notar que las mayores probabilidades de precipitación, están en el orden del 70%, a partir de valores de 30°C, igualmente se descartan los datos superiores a 40°C, por la razón citada anteriormente; para valores inferiores a 14°C, las probabilidades de lluvias y tormentas son escasas (cerca del 20%), es importante señalar que con este índice, cuando los valores oscilan cerca de 30°C, casi la mitad de las veces las lluvias y tormentas se producen simultáneamente (49%).

#### 2.5.4. Índice Showalter.

El cuadro presentado en el anexo 3 es similar a los anteriores, pudiéndose acotar que el máximo de probabilidades (73%) de lluvias y tormentas (66%), se dan cercanos al rango de valores entre -1.0 y 0.0°C, descartándose los valores superiores a 4.5°C, por ser poco representativos del resto de los datos, también hay que señalar, que el comportamiento del índice Showalter es más irregular que el de los dos anteriores (Isoin y K), sin embargo, puede resultar como buen indicador de lluvias y tormentas a partir de -2.0°C y más aún en valores cercanos al 0°C.

## 3 Conclusiones.

Existen diferencias básicas entre los valores de los índices Isoin, K y Showalter, que se aplican en latitudes medias y los aplicados en la localidad de Maracay, esto se puede ver en el cuadro del anexo número 4, donde se muestra la comparación de los resultados de los diferentes índices, con los valores establecidos en latitudes

medias, en el caso del índice Isoin, que reduce la ausencia de lluvias a valores inferiores a  $10^{\circ}\text{C}$ , en Maracay, dichos valores tienen que ser menores a  $18^{\circ}\text{C}$ , los rangos de  $24$  a  $26^{\circ}\text{C}$  establecidos para el comienzo de las lluvias en España, en Maracay ya son un fuerte indicador de lluvias (recuérdese que el máximo de probabilidad obtenido es 75%) (ver anexo 1).

Los valores del índice K, dieron aproximadamente igual a los aplicados en otras latitudes, a excepción de que en Maracay a partir de los  $28^{\circ}\text{C}$ , el K es indicador de precipitaciones, caso contrario sucede con la escala convencional que establece un 100% de probabilidades para valores superiores a  $40^{\circ}\text{C}$  (dichos valores fueron muy escasos en la muestra tomada, aproximadamente el 5% de los datos).

En el caso del índice Showalter, los valores establecidos para la probable formación de tornados (rango de  $3$  a  $6^{\circ}\text{C}$ ), en el área de Maracay, resultaron pobres indicadores para la precipitación (cerca de 60%), debido a que son datos que se presentan extraordinariamente y no se encontraron casos de lluvias intensas con dichos valores; los rangos establecidos de  $0$  a  $3^{\circ}\text{C}$ , indicadores de tormentas en las latitudes medias, en Maracay resultó el mejor rango indicador de lluvias y tormentas (70 y 59% respectivamente) (ver anexo 2); para los valores de  $0$  hasta  $-3^{\circ}\text{C}$ , indicador de chaparrones aislados, en Maracay se pueden pronosticar lluvias con una confianza hasta de 60% y los valores entre  $-3$  y  $-6^{\circ}\text{C}$  indicadores de cielo poco nublado, en Maracay aún siguen siendo indicadores de precipitaciones y tormentas (en el orden de 30% y disminuyendo progresivamente), solo para valores inferiores de  $-8^{\circ}\text{C}$ , las probabilidades de lluvias son menores a 10% (ver anexo 2).

En resumen, podemos concluir, que los índices isoín, K y Showalter, de acuerdo a la muestra evaluada, son predictores de lluvias y tormentas hasta un 70%, lo cual es decir bastante (dependiendo del rango de valor en que se dé el índice), por tanto, pueden ser usados como herramienta auxiliar por los pronosticadores, en la predicción de lluvias y tormentas en periodos cortos (máximo 24 horas).

### 3.0 Limitaciones.

Para evaluar las precipitaciones y las tormentas ocurridas con los diferentes valores de los índices, se revisaron los registros climatológicos del periodo correspondiente, dichos registros son el resultado de las observaciones meteorológicas ordinarias, por tanto, lo anotado en ellas es función del observador, el cual limita la observación a su rango visual (en horas nocturnas la observación de aguaceros en las cercanías de la estación, puede ser dificultosa), a esto se suma el posible error en la transcripción de datos durante los lanzamientos o análisis de radiosonda. En otros países para estudiar los índices de inestabilidad atmosférica, se utilizaron métodos auxiliares, como el radar meteorológico, el cual aportaba datos importantes de precipitaciones hasta de 300 km a la redonda; es por eso que debemos tener el beneficio de la duda y suponer que los índices aquí analizados, pueden poseer un grado de confianza mayor.

### 3.1 Recomendaciones.

En base a los resultados obtenidos, es recomendable que se tomen

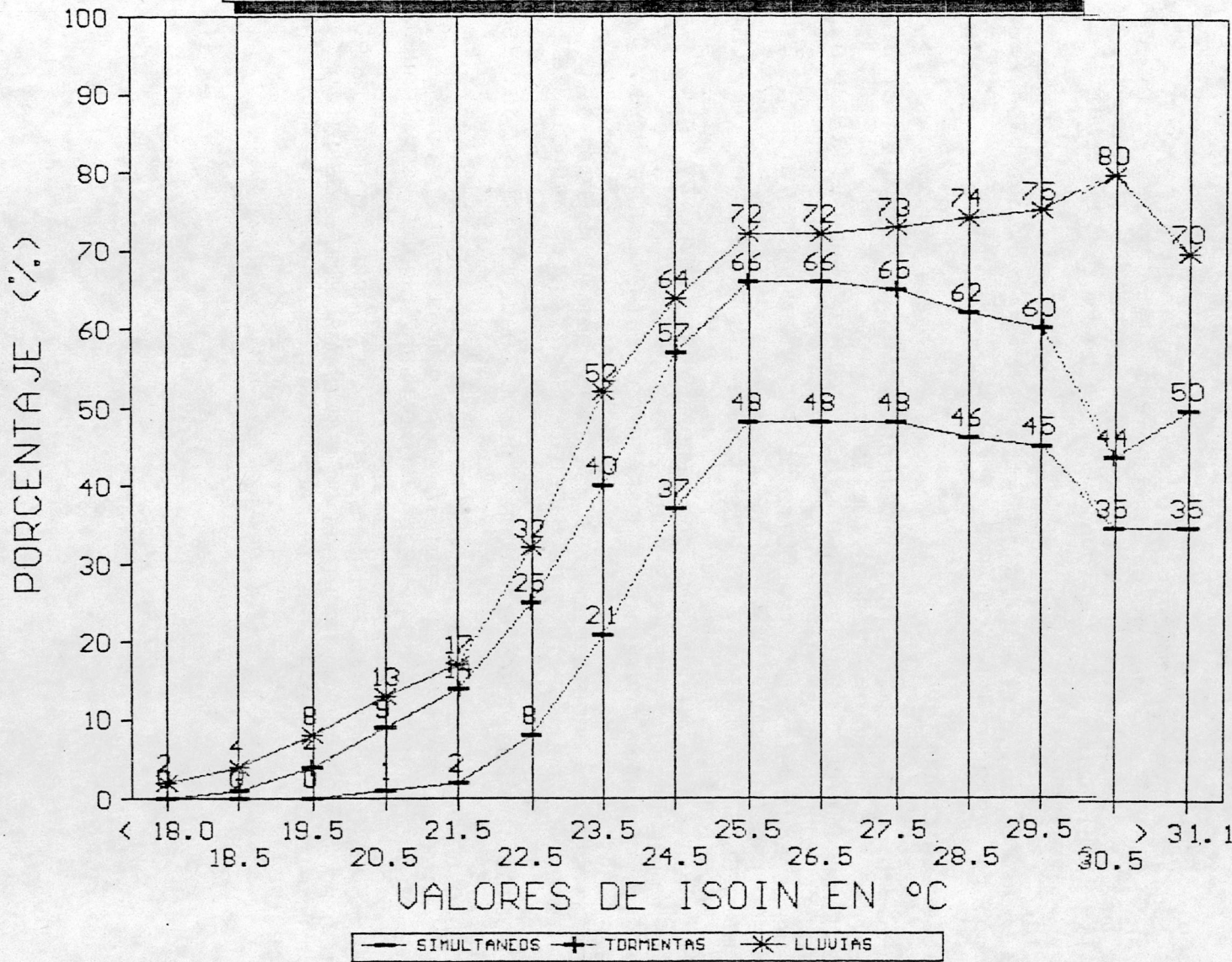
una serie de acciones, a fin de completar estos estudios:

- a) Ampliar el tamaño de la muestra de estudio, a fin de conseguir un nivel de confianza mayor.
- b) Llevar un registro diario de los índices, basándose no solo en los reportes diarios meteorológicos, si no usar como herramienta el radar meteorológico.
- c) Estudiar el comportamiento de los índices en lugares como: Ciudad Bolívar, Santa Elena de Uairén, San Antonio del Táchira y la Cañada (Edo. Zulia), donde existen registros de radiosondeos, a fin de poder visualizar globalmente y en conjunto, el grado de confiabilidad de dichos índices en Venezuela.
- d) Incluir los índices más usados (Isoin, Sw, K, bulbo húmedo, Rac-kliiff, Jefferson, etc) en los registros climatológicos, para evaluar su comportamiento en los trópicos.

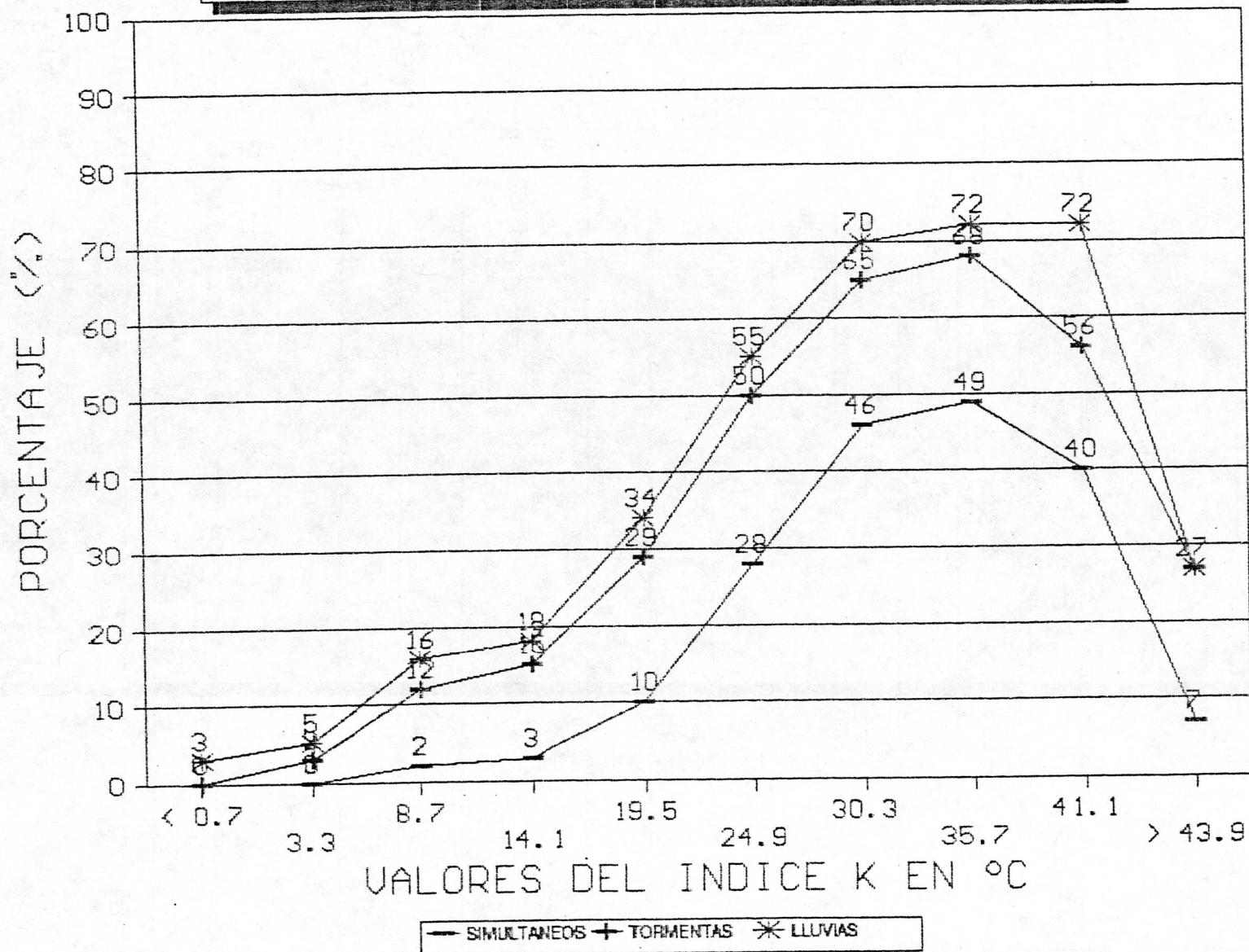
#### BIBLIOGRAFIA CONSULTADA:

- A REVIEW OF STATIC STABILITY INDICES AND RELATED THERMO DYNAMIC PARAMETERS...BY RANDY A PEPPLER. OCT/88.
- USO DEL INDICE DE ESTABILIDAD ATMOSFERICA DE SHOWALTER EN LA PRE-DICCION DE TORMENTAS EN MARACAY...
- SUAREZ CALZADILLA UCV. FACULTAD DE INGENIERIA DPTO. DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA NOV/1987.
- HIPOTESIS ESTADISTICAS EN CLIMATOLOGIA: MARTINEZ MOLINA, GARCIA LEGAZ. MADRID 1984.
- PROBABILIDAD (TEORIA Y 500 PROBLEMAS RESUELTOS)
- SEYMOUR LIPSCHUTZ (SERIE SHAUM) 1988.
- DISTRIBUCION DE SERIES DE TEMPERATURAS MEDIAS . JOSE MARIA CASALS INM ESPAÑA 1985.
- ESTADISTICA Y PROBABILIDADES. MARTINEZ MOLINA. MADRID 1985.
- HISTORIAL DEL SERVICIO DE METEOROLOGIA Y COMUNICACIONES FAV., FUERZA AEREA VENEZOLANA.
- APUNTES TOMADOS DURANTE EL CURSO DE METEOROLOGIA CLASE II, ESPAÑA, MADRID 1985.
- CURSO BREVE DE ESTIDISTICA. ENRIQUE CHACON, ESPAÑA 1968.
- ESTADISTICA GENERAL. ERNESTO RIVAS GONZALES. UCV.1979.
- APUNTES DE TERMODINAMICA DE LA ATMOSFERA. FRANCISCO MORAN. INN. MADRID 1984.
- CURSO DE CLIMATOLOGIA. JOSE Ma. GUARDIOLA JANSÁ. MADRID 1969.
- USO DO INDICE "K" NA PREVISAO DO TROVOADAS DNMET. BRASILIA 1990.
- DISTRIBUCION DE LAS PRECIPITACIONES, JOSE MARIA CASALS MARCEN, MADRID 1984.

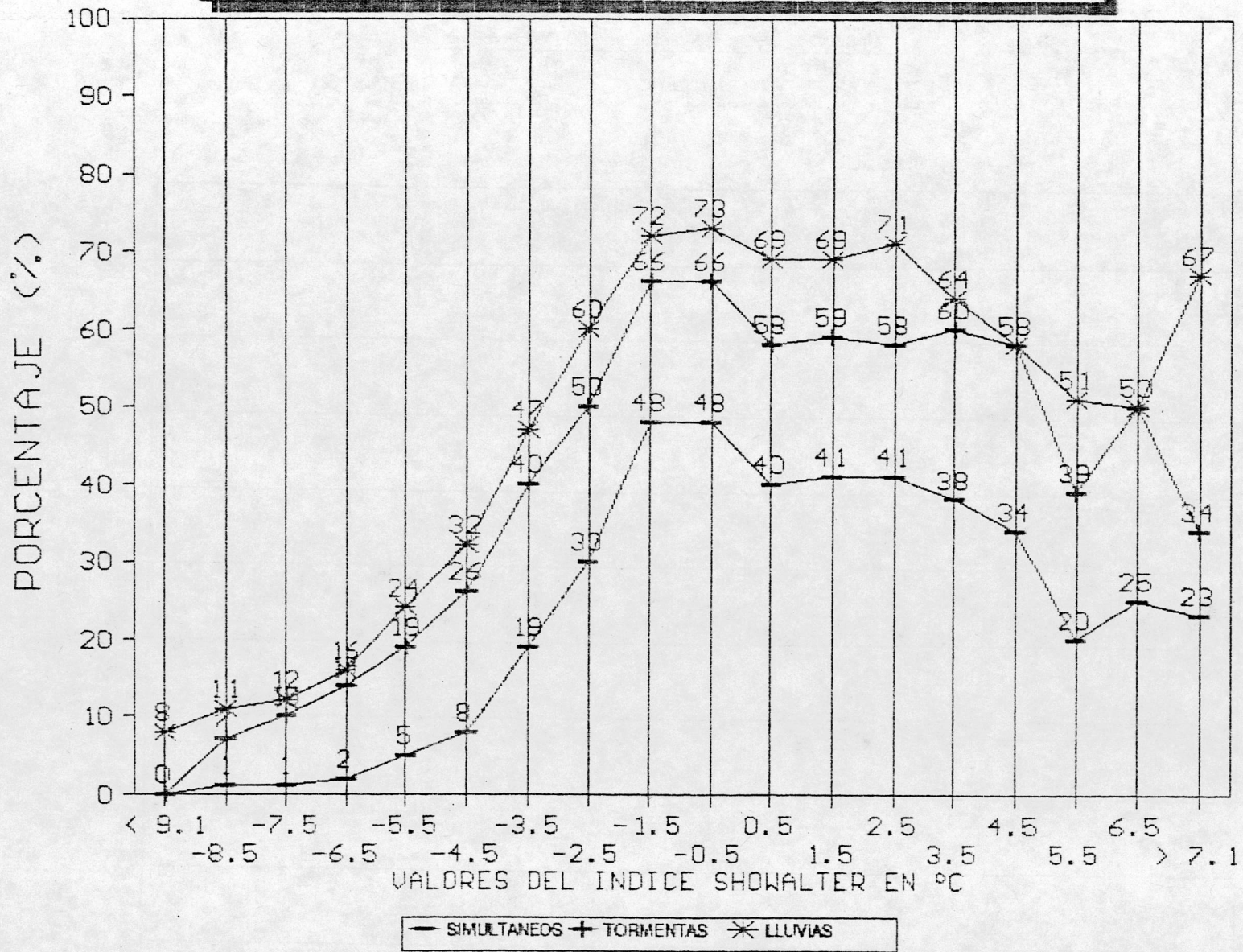
PROBABILIDADES DE LLUVIAS Y TORMENTAS  
EN BASE AL INDICE ISOIN



PROBABILIDAD DE LLUVIAS Y TORMENTAS  
EN BASE AL INDICE K



PROBABILIDAD DE LLUVIAS Y TORMENTAS  
EN BASE AL INDICE SHOWALTER



## NUEVAS TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION HIDROCLIMATICA

Javier E. Carvallo  
Electrificación del Caroní C.A. -EDELCA

### A) INTRODUCCION

Con el devenir del tiempo, las necesidades de información para la toma de decisiones son cada vez mayores y la importancia del adecuado uso de los recursos naturales, una prioridad nacional.

EDELCA, una empresa preocupada por la optimización de los recursos hídricos y la conservación de las cuencas bajo su administración, se mantiene a la vanguardia en el desarrollo de nuevas técnicas para el procesamiento de la información hidroclimática en Venezuela.

Como fruto de esta actitud, se encuentra la base de datos hidroclimática de EDELCA y una importante cantidad de programas de apoyo, para el manejo y aplicación de la información allí contenida.

Una de las metas primordiales de EDELCA, es la construcción y operación de obras hidráulicas, con el fin de aprovechar el potencial hidroeléctrico de la cuenca del río Caroní, y evidentemente, para el diseño, construcción y operación de dichas estructuras, es fundamental la información hidrometeorológica básica. Consecuentemente, cuando analizamos las actividades de la empresa, aparece como fundamento para el diseño y planificación de las más diversas actividades, la información hidroclimática (grafico #1).

Efecto directo de esta consideración, ha sido el incremento experimentado por la red de estaciones que nutre de información al banco de datos y junto con ellas, el volumen de datos a procesar y transcribir. Debido a ésto, ha surgido la necesidad de nuevas técnicas para la interpretación de los registros de los instrumentos, los cuales tradicionalmente se evaluaron y transcribieron manualmente. En este sentido, se desarrollaron los sistemas DIGIBAN y SIPI, los cuales son capaces de interpretar las bandas registradas de los instrumentos meteorológicos operados por EDELCA y generar los archivos de datos de entrada para la base de datos.

En este trabajo se describe brevemente el proceso desde la obtención del dato hidrometeorológico, hasta su incorporación a la base de datos y posteriormente, las nuevas técnicas desarrolladas en EDELCA para la optimización de dicho proceso.

## B) PROCESO DE OBTENCION DE LA INFORMACION HIDROCLIMATICA

El proceso para la obtención de la información hidrometeorológica es complejo y costoso, pero las inversiones en capital y recursos humanos son gratamente recompensadas por la gran utilidad que para distintos sectores ó ambitos de la empresa tiene la información. Por sus características operativas, este proceso puede desglosarse en tres grandes etapas, las cuales se describen brevemente a continuación:

### 1) ETAPAS DEL PROCESO DE OBTENCION DE LA INFORMACION

- a) Adquisición de los datos básicos generados en el campo.
- b) Análisis y control de calidad de los datos recopilados.
- c) Almacenamiento de la información básica recolectada y depurada.

La adquisición de los datos, comienza con la instalación de una red de instrumentos adecuados y estratégicamente ubicados, cumpliendo con las normas de la Organización Meteorológica Mundial para la estandarización de las mediciones. Estos equipos, permiten registrar según escalas universales los parámetros climatológicos y almacenan la información en variadas formas (bandas de papel, memoria sólida, tarjetas magnéticas, etc.). Posteriormente y con una frecuencia pre-establecida que depende de cada instrumento, se visita la estación de medición con el fin de recuperar la información almacenada y darle el mantenimiento de rigor al equipo, garantizando de esta forma el funcionamiento continuo del instrumento.

La primera etapa, se caracteriza por desarrollarse en tiempo real, lo cual imposibilita la recuperación de la información una vez transcurrido el evento. Además de esto, los datos aquí recolectados son la base de todo el proceso, por lo cual es de vital importancia garantizar los recursos necesarios para el correcto funcionamiento de la red.

La segunda etapa, engloba dos actividades primordiales. La primera consiste en el análisis de la información directa de los instrumentos, que con el tiempo ha venido variando en su forma de presentación. La finalidad de este análisis es transformar los registros de los instrumentos en datos de una frecuencia determinada (horaria, diaria, etc) y posteriormente se realiza el control de calidad de la información obtenida. Durante esta parte del proceso, se diseñan las acciones correctivas a los problemas detectados durante el control de calidad de los datos.

Finalmente, toda la información procesada y evaluada se incorpora a la base de datos hidroclimática de EDELCA, la cual garantiza la permanencia de la información en el tiempo, el acceso a los datos para todos los usuarios que lo requieran y la disposición de inventarios donde se describen las estaciones, los parámetros y los períodos de información que se encuentran almacenados en dicha base de datos.

El proceso de recopilación y procesamiento de la información básica se realiza para cada instrumento instalado y si consideramos que los registros son horarios, un solo parámetro produce cerca de

nueve mil datos al año y específicamente para la cuenca del Caroní (gráfico #2), se manejan en promedio mas de "1.000.000" de datos al año, con registros desde el año 1949; es decir, más de 40 años de registros continuos con un volumen de información creciente cada hora que transcurre.

### C) ANTECEDENTES DEL PROCESAMIENTO

La primera generación de instrumentos registradores, denominados actualmente como convencionales, trabajan sobre bandas de papel donde registran en una línea continua de tinta, las variaciones del parámetro a medir.

Estas bandas, deben ser leídas para transformar el registro del instrumento en datos puntuales, y en esta operación, es donde la subjetividad del operador puede generar errores. Si además de esto, consideramos el volumen de información que se maneja en una sola cuenca, entenderemos que este proceso, se transforma en un problema, que implica un elevado número horas hombre dedicadas a un trabajo expresamente operativo y una gran cantidad de errores en los resultados.

Este procesamiento se inicia al retirar la banda del equipo registrador y surgir la necesidad de interpretar el trazo dejado por el equipo convencional, el cual grafica en forma continua, las variaciones del parámetro en el eje vertical de la banda Vs. el tiempo en el eje horizontal. Mediante el análisis de la banda, se encuentran los valores puntuales del parámetro cada cierto intervalo de tiempo, los términos máximo y mínimo del parámetro a lo largo del día y en algunos casos, valores promedios en determinados lapsos de tiempo según sea de interés.

Durante los últimos años, en EDELCA se han desarrollado nuevas técnicas para el análisis automatizado o semi-automatizado de dichas bandas, con el fin de eliminar los errores causados por el análisis manual y disminuir el tiempo de interpretación de cada banda. El resultado de estos desarrollos, son dos nuevos sistemas originales implementados para microcomputadores; dichos sistemas basados ambos en la digitalización, interpretan las bandas de los instrumentos registradores y proporcionan archivos de salida, compatibles con la base de datos hidroclimática de EDELCA.

Estos dos sistemas denominados DIGIBAN y SIPI, son descritos a continuación junto con las nuevas tendencias del procesamiento de la información hidroclimática.

### D) DIGIBAN

#### SISTEMA DE DIGITALIZACION POR MESA

Este primer sistema funciona a través de una mesa digitalizadora, con cuyo cursor se recorre el trazo de la banda, transformando esta curva en una serie de coordenadas cartesianas que la definen matemáticamente. Posteriormente, se calculan por interpolaciones los valores puntuales en la frecuencia solicitada y se genera un archivo de sali-

da, el cual contiene todos los datos de la estación y el parámetro analizado. Este archivo será luego la entrada de la base de datos.

Con la utilización de este sistema, se eliminan los pasos de interpretación manual de la banda y la transcripción de los datos al archivo de entrada de la base de datos, aumentando considerablemente la exactitud de los datos finales incorporados al sistema.

Adicionalmente, es posible subsanar algunos problemas comunes a este tipo de equipo, como son:

- Retrasos en el reloj del instrumento.
- Trazos defectuosos por falta o exceso de tinta en la plumilla del aparato.
- Bandas deterioradas por un almacenamiento inadecuado.

Digitalizar la banda a través de una mesa digitalizadora, presenta la ventaja de poder rectificar este tipo de errores previa identificación de los mismos. Simplemente se redefinen los trazos o los orígenes de la banda, para luego continuar el proceso sin ninguna variación. Esta característica y la velocidad y sencillez con la que se realiza todo el análisis de la banda, presentan a este sistema como una herramienta sumamente eficaz para el trabajo integrado de análisis y procesamiento de la información hidroclimática.

El programa DIGIBAN fue desarrollado por el Ing. José M. Pérez Godoy en lenguaje Basic, sobre un computador IBM/AT con 512 K de memoria, tarjeta gráfica CGA y una mesa digitalizadora CALCOMP 9100. Actualmente, es posible procesar todos los parámetros climatológicos de los cuales EDELCA tiene registros sobre bandas y adicionalmente, algunas bandas generadas por instrumentos del M.A.R.N.R. y la U.C.V.. Sin embargo, debido a la estructura del programa, es posible agregar cualquier tipo de banda al sistema con sólo incluir algunas de sus características físicas como el radio del brazo registrador, el rango de los ejes de coordenadas y el período que registra la banda.

Este sistema se encuentra operativo en el Departamento de Hidrometeorología, contribuyendo de manera sólida con la actualización y mantenimiento de la base de datos Hidroclimática de EDELCA.

## E) SIPI

### SISTEMA DE VIDEO-DIGITALIZACION

El sistema SIPI, última generación de los desarrollos de EDELCA, funciona en conjunto con una cámara de video de alta resolución, la cual capta la imagen de la banda registrada que se desea analizar. Posteriormente y bajo un complejo cálculo numérico, se identifica el trazo del instrumento y se define la curva matemáticamente. El proceso a continuación es similar al establecido por el programa DIGIBAN. A través de interpolaciones se definen los valores puntuales a los intervalos solicitados y se crea el archivo de entrada, a la base de datos de EDELCA.

Este sistema presenta la ventaja de realizar el análisis completo de la banda, sin la intervención del operador, lo cual garantiza la precisión y objetividad del procesamiento. Adicionalmente, la velocidad de interpretación de las bandas es sumamente alta y mediante el sistema, se eliminan prácticamente todas las tareas operativas, lo que permite a un solo operador evaluar un gran volumen de información.

Otra de las ventajas de este sistema, es la de permitir la creación de archivos de respaldo para la información, a través de las imágenes de cada banda, las cuales ocupan 64 k de memoria aproximadamente, generando una solución óptima al problema de la conservación de la información original.

Sin embargo, el alcance de este sistema se ve restringido por la incapacidad de la cámara para captar imágenes en colores. Lo que genera limitaciones serias cuando las bandas se encuentran en mal estado, o los trazos dejados por el instrumento registrador, no son suficientemente intensos para ser separados de la malla original de la banda. Estas limitaciones pueden ser subsanadas con una cámara de video a colores, donde se podrían diferenciar los diferentes colores de la malla de la banda y del trazado del instrumento. Actualmente se encuentra bajo estudio la adquisición de un equipo de video de alta resolución a colores como respaldo a este sistema.

El programa SIPI se desarrolló en lenguaje C por el Ing. José M. Pérez Godoy, instalándose en un computador IBM/AT con 1 Mega de memoria, mouse, tarjeta gráfica CGA y una tarjeta para el manejo de imágenes de alta resolución con monitor aparte. Este sistema es capaz de procesar todas las bandas de los equipos registradores de EDELCA y en la actualidad, se están demostrando las virtudes del equipo para su posterior puesta en funcionamiento por el Departamento de Hidrología Operativa.

## F) TENDENCIAS DEL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

Debido al desarrollo de las telecomunicaciones y a las nuevas técnicas de manejo de la información digital, las nuevas generaciones de equipos son capaces de almacenar la información capturada, en memorias sólidas o medios magnéticos y al mismo tiempo transmitirlas a los centros de acopio para su inmediata utilización. Estos equipos requieren menos mantenimiento y pueden ser muy confiables, con la única desventaja de sus elevados costos de adquisición y lo especializado de la mano de obra para el mantenimiento, operación y reparación de sus elementos.

Paralelamente a estos equipos, se han estado desarrollando nuevos sensores remotos cada vez más sensibles y precisos, que instalados sobre los satélites, son capaces de realizar mediciones de refractancia en una variada gama de frecuencias del espectro electromagnético (luz visible, infrarrojo, etc.).

Estos sensores no sustituyen los equipos existentes, ya que requieren de dichos equipos para calibrar sus mediciones, sin embargo,

son un complemento sumamente importante, sobre todo en zonas despobladas o selváticas, donde instalar una red suficientemente densa sería sumamente costoso e ineficiente.

En la actualidad, dentro del Proyecto Hidrología Aplicada se encuentra en experimentación el sistema "Visión", el cual será capaz de estimar la precipitación media areal en tiempo real a partir de las imágenes del satélite "GOES". Este sistema utilizado sobre la cuenca del río Caroní y en conjunto con un modelo lluvia-escorrentía, podrá predecir los caudales superficiales de entrada al lago de Guri con un rezago de 2 a 4 días y, los sub-superficiales y subterráneos, hasta con 15 días, estableciendo parámetros sumamente efectivos para la operación de los embalses.

El sistema "Visión" se fundamenta en modelos estadísticos entre el albedo de las nubes en distintas frecuencias y la precipitación que dichas nubes generan. Para definir el modelo, se consideran las características físicas del sistema nuboso, por ejemplo: la temperatura de los topes, la magnitud de la convección, la amplitud del sistema, etc., las cuales junto con la época del año que se está estudiando, son indispensables para estimar la precipitación diaria sobre una determinada superficie.

Una vez definido el modelo, éste se calibra con cada estación existente en la cuenca, con el fin de estimar la precipitación media areal sobre el área de interés. Este tipo de mediciones, posee la ventaja de poder trabajar sobre cualquier superficie, aunque su acceso sea imposible y la red de instrumentos tradicionales insuficiente.

IV ENCUENTRO NACIONAL CLIMA, AGUA Y TIERRA  
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

USO DE UN MODELO HIDRAULICO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LA RELACION  
NIVEL - GASTO. MICROCUENCA LA VIRGEN

Yajaira Ovalles de Cabeza, Escuela de Ingeniería Forestal  
Facultad de Ciencias Forestales - Universidad de los Andes

INTRODUCCION

La microcuenca La Virgen ubicada al noroeste de la ciudad de Mérida, entre las poblaciones de Tabay y Cacuto, tiene una superficie de 500 has (gráfico 1).

Se reporta que antes de 1960 ocurrían con frecuencia crecidas torrenciales que producían daños en el cono de deyección, tales como:

- obstaculización del tránsito automotor desde el centro del país hacia Mérida y viceversa;
- aumento en los costos de mantenimiento de la carretera, ya que era imprescindible la limpieza de la vía después de las crecidas;
- riesgo de pérdida de vida de los habitantes ubicados en las márgenes del cono de deyección;
- pérdida de tiempo y dinero para los usuarios de la vía por la interrupción del tránsito automotor.

El problema descrito hizo que los usuarios de la vía y la población allí residente manifestaran su preocupación y crearan la motivación para que los organismos competentes realizaran las acciones de control. Así, en 1960 se logró que el Ministerio de Agricultura y Cría asignara recursos para la construcción de diques de mampostería en seco, lo cual es un tipo de tratamiento apropiado para el control de cárcavas por lo que resultaron insuficientes para soportar las fuerzas hidrodinámicas de las crecidas torrenciales y consecuentemente fueron destruidos. Luego por varios años no se realizó ningún tratamiento adicional.

En 1965 el M.A.C. replanteó el problema y solicitó a la Escuela de Ingeniería Forestal de la U.L.A. la formulación de un proyecto de tratamiento conservacionista de la microcuenca, el cual fue elaborado entre 1965 y 1967. Este proyecto fue un trabajo de grado y basado en éste no hubo ninguna acción concreta.

En 1971 se tomó la decisión de realizar la primera fase del anteproyecto de control de torrentes contenido en el plan anteriormente mencionado que consistía en un escalonamiento en el tramo inferior. La etapa siguiente fue la creación de un mecanismo organizativo para llevar a la realidad la construcción de las obras propuestas. En tal sentido, en 1972 se logró un convenio no formal entre técnicos de la U.L.A., el M.A.C. y CORPOANDES para la reformulación del anteproyecto y su ejecución.

El gráfico 2 muestra las relaciones interinstitucionales de coo-

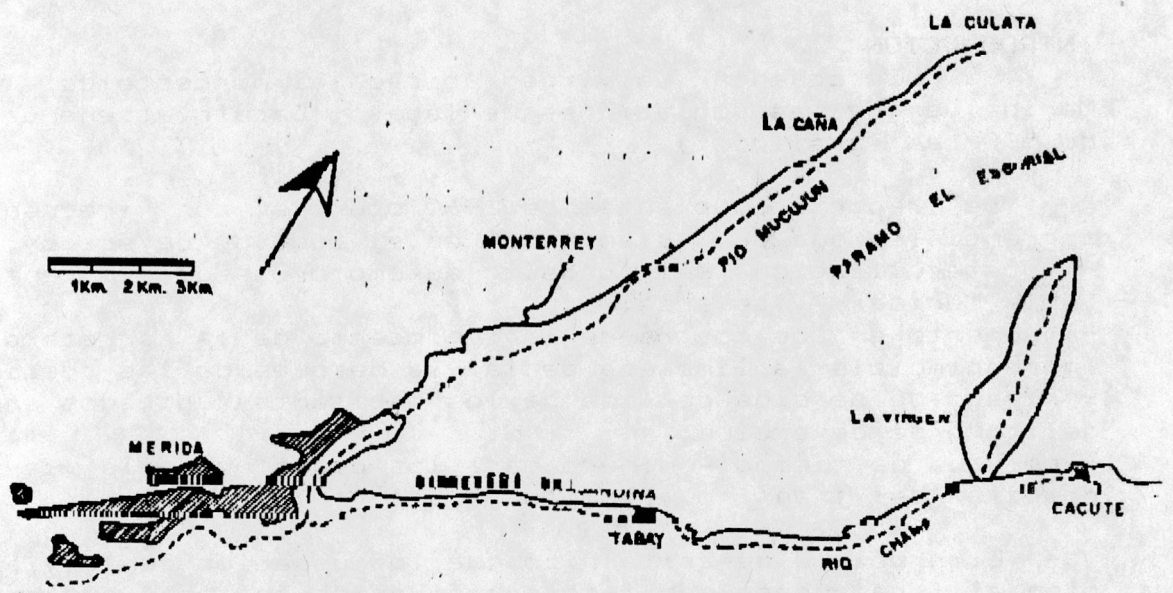
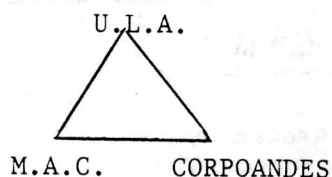


GRAFICO NO 1 Ubicación de "La Virgen" en relación a la ciudad de Merida.

peración.



U.L.A. : Asesoramiento Técnico  
 M.A.C. : Mano de Obra e Inspección  
 CORPOANDES : Aporte financiero para adquisición de materiales

Gráfico 2 : Relaciones Interinstitucionales de Cooperación

Entre 1972 y 1976 se realizó la construcción de 17 diques de consolidación de mampostería gavionada, hidráulica y de concreto. Además se construyó un muro lateral de 80 m y la estabilización con Kikuyu de los taludes perturbados.

En general, se han obtenido los resultados esperados, entre ellos se deben destacar los siguientes:

Se logró la estabilización total del torrente principal y como consecuencia de la elevación del nivel base se estabilizó un deslizamiento en el tramo superior y los procesos de erosión regresiva de un pequeño torrente tributario. Otros resultados indirectos fueron la recuperación por recolonización vegetal de áreas degradadas lo que condujo a un mejoramiento paisajístico que estimuló el desarrollo del El Caney y Los Aleros, polos turísticos del estado Mérida ubicados parcialmente en el cono de deyección del torrente La Virgen.

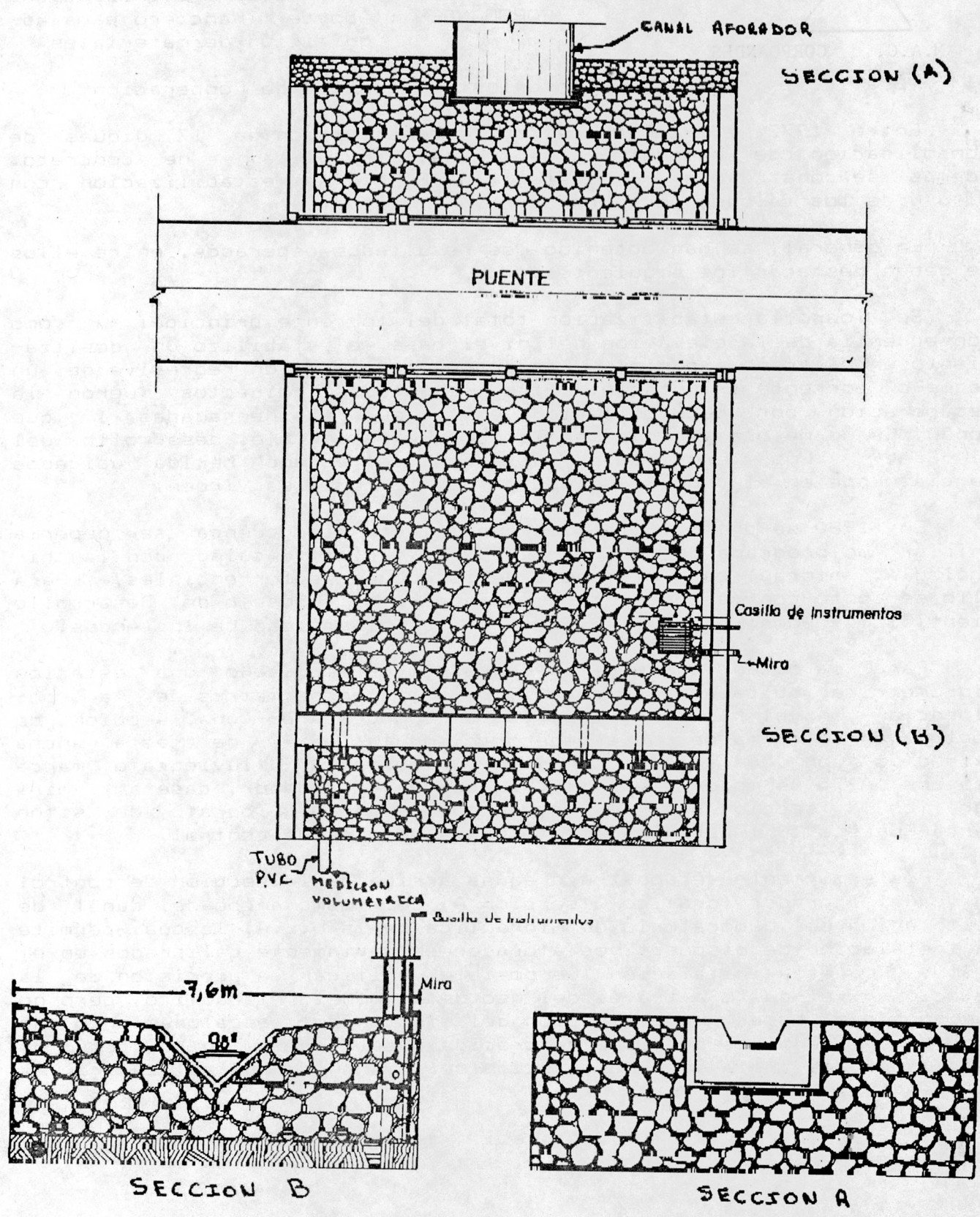
En 1980 se promovió la idea que en esta microcuenca se debería iniciar un programa de medición e investigación vinculado con la hidrología, hidráulica y el manejo de microcuencas torrenciales. Para ello se contó con la cooperación financiera del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (C.D.C.H.) de la Universidad de los Andes.

Para la obtención de datos hidrológicos se diseñó una estación hidrométrica ubicada en la cota 1920 msnm a pocos metros de la confluencia con el río Chama (gráfico 3) compuesta por una sección de control en la forma de un vertedero triangular en 90° de cresta ancha extendido con dos alas de pendiente uniforme, un fluviógrafo marca Stevens A-75 de motor eléctrico, un pozo amortiguador, caseta y mira (gráfico 3 sección B). Se instaló además un pluviógrafo de sifón marca Fuess a 10 m aproximadamente de la sección de control.

Posteriormente se construyó aguas arriba de la sección de control un canal aforador (gráfico 3 sección A) del mismo ancho del canal de calibración del Laboratorio de Hidráulica de la U.L.A. lo cual permite la instalación de dispositivos aforadores previamente calibrados en el mismo. Con esta instalación fue posible verificar la precisión de la relación nivel-gasto a través del uso de un modelo hidráulico, pero no fue posible hacer una evaluación del efecto del escalonamiento de diques en términos de picos de crecida puesto que no se dispone de datos previos y la sola observación del hidrograma de salida no es suficiente.

Se tiene previsto la instalación de un fluviógrafo antes del escalonamiento para así comparar el efecto antes y después, sobre el hidrograma de crecidas.

TORRENTE LA VIRGEN.



## DESARROLLO

Usualmente el establecimiento de la relación nivel-gasto se realiza mediante una serie de aforos y observaciones simultáneas de los niveles concurrentes. Sin embargo, por este método se obtienen relaciones no muy bien definidas que indican baja precisión debido a que se hace una representación gráfica basada en una nube de puntos de gran dispersión. Además, este procedimiento puede implicar un largo período de observaciones.

En vista de que ya estaba construida una sección de control en la microcuenca La Virgen y existía la posibilidad de construir un modelo geoméricamente similar a ésta, se optó por el establecimiento de la relación carga-gasto por operar el modelo en el Laboratorio de Hidráulica y la aplicación de la Ley de Froude para establecer la relación entre las mediciones de campo y las de laboratorio.

Según la Ley de Froude :  $Q_r = L_r^{1/2}$  donde :

$Q_r$  = razón de gastos

$L_r$  = escala geométrica (razón lineal)

Como la carga H es una magnitud lineal, la ecuación puede expresarse :

$$Q_r = H_r^{5/2}$$

Establecimiento de la escala geométrica : Esta viene obligada debido a las estructuras existentes en el campo y a las dimensiones del canal de calibración del laboratorio, y resultó ser igual a 1 : 9,5.

Luego tomando esta escala lineal :

$$Q_r = \left( \frac{1}{9,5} \right)^{5/2}$$

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \left( \frac{1}{9,5} \right)^{5/2}$$

$$Q_m * 9,5^{5/2} = Q_p$$

$$\frac{H_m}{H_p} = \frac{1}{9,5}$$

$$H_m * 9,5^{5/2} = H_p$$

Con estas dos ecuaciones las mediciones de laboratorio se transformaron en correspondientes mediciones de campo (Tablas 1 y 2). De acuerdo con la teoría hidráulica, la relación entre Q y H para un vertedero triangular de cresta ancha es del tipo :

$$Q = K * H^n$$

Con los valores de laboratorio ya transformados en valores de

TABLA N<sup>o</sup> 4

VALORES DE CARGA Y CAUDAL MEDIDAS EN EL LABORATORIO

Número medición	Carga $H_p$ (cm)	Caudal $Q_p$ (l/s)	Número Medición	Carga $H_p$ (cm)	Caudal $Q_p$ (l/s)
1	2.04	0.06	13	5.20	0.77
2	2.34	0.08	14	5.40	0.84
3	2.41	0.40	* 15	5.64	0.92
4	2.79	0.13	16	5.99	1.08
5	3.06	0.18	17	6.26	1.23
6	3.64	0.28	18	6.55	1.45
7	3.85	0.35	19	6.66	1.52
8	4.19	0.40	* 20	6.79	1.78
9	4.30	0.47	* 21	7.35	2.35
10	4.60	0.55	* 22	8.79	4.98
11	4.76	0.60	* 23	9.98	8.65
12	4.93	0.65	* 24	11.87	16.93

\* Medidas en abril 1981. Los restantes fueron medidas en marzo 1982.

TABLA N<sup>o</sup> 2

VALORES DE CARGA Y CAUDAL EN EL PROTOTIPO DEL VERTEDE-  
RO. TORRENTE LA VINCEN EN EL CANEY

Carga H <sub>p</sub> (cm)	Caudal Q <sub>p</sub> (lts/seg)	Carga H <sub>p</sub> (cm)	Caudal Q <sub>p</sub> (lts/seg)
19.38	16.69	49.40	214.19
22.23	22.25	51.30	233.66
22.90	27.82	53.58	255.92
26.51	36.16	56.91	300.42
29.07	50.07	59.47	342.15
34.58	77.89	62.23	403.35
36.58	97.36	63.27	422.82
39.81	111.27	64.51	495.14
40.85	130.74	69.83	653.70
43.70	152.99	83.51	1385.29
45.22	166.90	94.81	2406.17
46.04	180.81	112.77	4709.42

campo se determinó la K y n (gráfico 4) resultando :

$$Q = 4,639 \times 10^{-3} * H^{2,75} \quad r = 0,999$$

con : H = cms y Q = lts / seg

Esta ecuación solo es aplicable para cuando la sección de flujo trabaja como un vertedero simple, por lo que la comprobación de campo se realizó para valores de gasto correspondientes a la parte inferior del gráfico 4.

#### COMPROBACION

Para los efectos de la comprobación se utilizó un vertedero Cippoletti, por ser este dispositivo el que mejor se adaptó al rango de gastos medidos. Este Cippoletti tiene una longitud de 30,5 cm y fue calibrado en el canal del Laboratorio de Hidráulica utilizado en las operaciones de calibración el cual es del mismo ancho del canal aforador construido en el campo. Se realizaron mediciones volumétricas del gasto en un tanque de área 3,02 m<sup>2</sup>.

Durante un periodo de tres meses se realizaron las mediciones de campo con rango de variación de gastos entre 6,37 lts/seg a 30,87 lts/seg. Simultáneamente con las mediciones de gasto se observaban los niveles de carga en la sección de control.

Los gastos medidos usando el vertedero Cippoletti se compararon con los gastos calculados usando la ecuación obtenida por la aplicación de la fórmula de la Ley de Similitud de Froude y con los gastos calculados usando la ecuación de calibración obtenida en campo (Tabla 3).

#### CONCLUSIONES

a) Tomando como término de comparación los gastos medidos en el prototipo con los gastos calculados mediante las dos fórmulas (Similitud hidráulica y calibración de campo) se determinó el error medio porcentual en los dos casos. El resultado de este último cálculo señala obviamente que la fórmula de calibración obtenida con los datos de campo es la que mejor estima el gasto del prototipo. No obstante, el uso del modelo para obtener fórmulas de calibración sería también adecuado si no se requiere muy alta precisión.

b) Para explicar la diferencia entre los valores de gasto calculados usando modelos y los calculados usando la fórmula de calibración de campo, es necesario hacer algunas consideraciones respecto a las limitaciones de la similitud hidráulica. La similitud geométrica entre modelo y prototipo no solo se refiere a las dimensiones lineales sino también a las rugosidades de las , en consecuencia, la rugosidad del modelo tendría que ser mucho menor que la del prototipo. La relación entre las dos rugosidades se puede determinar aplicando la fórmula de Manning. En el caso de nuestro sistema modelo-prototipo estas consideraciones de similitud no fueron tomadas en cuenta y comparando el modelo con el prototipo se puede afirmar que la superficie en el prototipo (acero) es más lisa que la del modelo (madera).

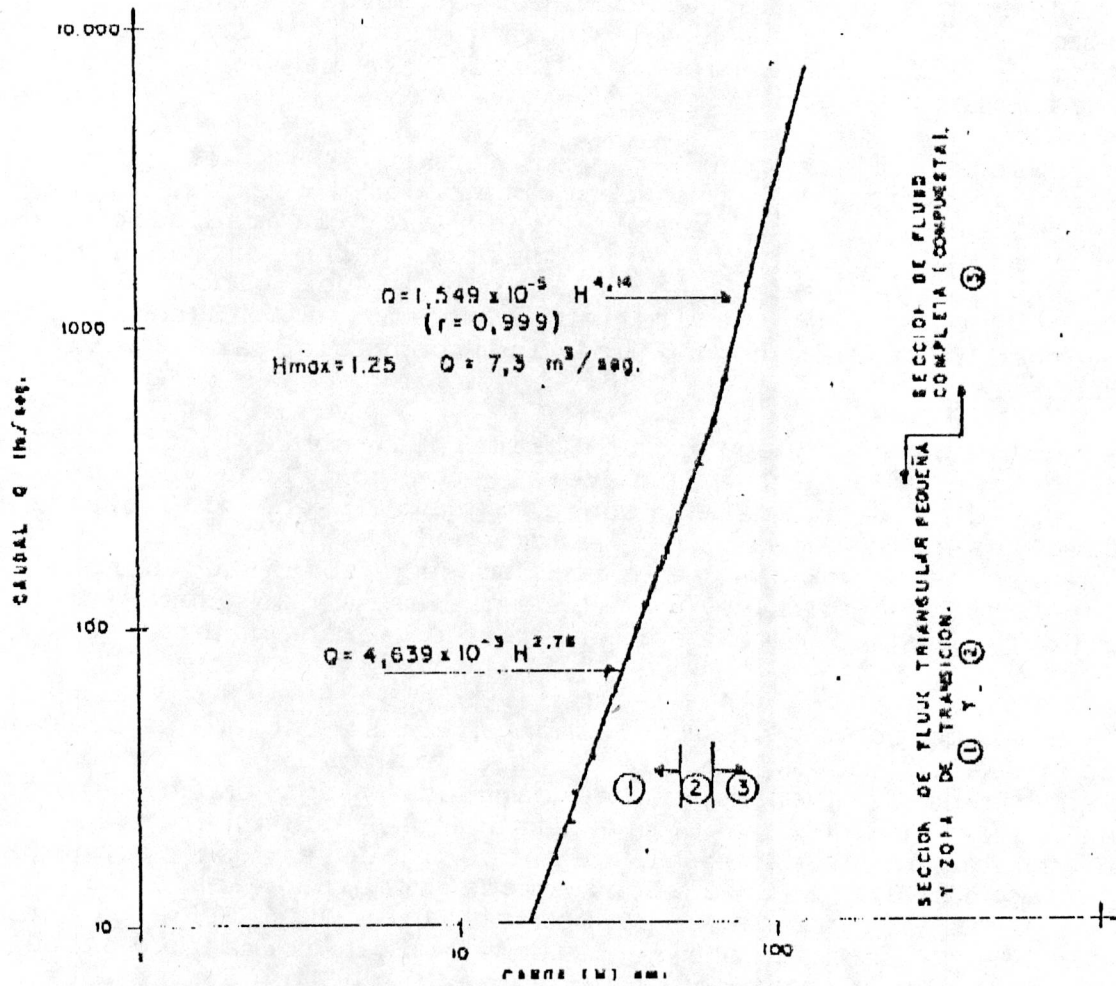


GRAFICO Nº 4 Relación carga-gasto en el prototipo vertedero en el torrente, La Virgen en el Concey.

**IV ENCUENTRO NACIONAL CLIMA AGUA Y TIERRA  
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA  
Y CLIMATOLOGIA**

**EL CAMBIO CLIMATICO: CAUSAS E IMPLICACIONES**

Autores: Ana Cristina González Martha Perdomo de Mata  
Oficina Coordinadora del Grupo Interinstitucional de Cambios  
Climáticos. Dirección de Hidrología y Meteorología. M.A.R.N.R.

**EFEECTO INVERNADERO Y CICLO DEL CARBONO**

La atmósfera está compuesta en más de 99,9 % por N, O<sub>2</sub> y Argón, pero son otros gases, menos del 0,5 por mil, los que determinan el régimen térmico del globo; sin ellos, la tierra sería un planeta glacial con temperaturas promedios en el suelo de - 18°C. La temperatura promedio en la superficie del globo es 33°C más elevada, gracias al vapor de agua y al CO<sub>2</sub> atmosféricos.

Estos últimos junto con el metano (CH<sub>4</sub>), el ozono y el óxido de Nitrógeno, se comportan como los cristales de un invernadero: por una parte dejan pasar la radiación solar de longitud de onda corta, y por otra parte detienen los rayos infrarrojos que salen de la superficie del globo. La radiación atrapada de esta forma, calienta la atmósfera. **Este es el efecto invernadero, fenómeno natural indispensable para la vida en el planeta.**

El carbono juega un rol primordial sobre la tierra: es el componente esencial de la materia orgánica. Los vegetales toman el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y con el agua y la energía solar fabrican moléculas de glucosa; esta reacción libera O<sub>2</sub>. El hombre y los animales se alimentan de esta biomasa y toman su energía. Cuando el material vegetal se pudre, se digiere o se quema, el CO<sub>2</sub> se libera y regresa a la atmósfera; de esta manera el ciclo se cierra.

Existe además un intercambio gaseoso entre los océanos y la capa inferior de la atmósfera. Los mares del planeta son inmensos >lugares de almacenamiento de carbono, y son capaces, regresando una parte del CO<sub>2</sub> a la atmósfera, de moderar el efecto invernadero. Cuando el plancton muere, se deposita sin descomponerse, y el carbono queda combinado bajo la forma de moléculas orgánicas y carbonato de calcio. En el curso de millones de años, estos depósitos se transforman en petróleo, en gas natural y en rocas carbonatadas. Cuando se quemán los combustibles fósiles, el C se combina con el O<sub>2</sub>, formando CO<sub>2</sub>, que se escapa al aire. Esta producción artificial de CO<sub>2</sub> desequilibra el ciclo natural del carbono.

Los combustibles fósiles constituyen actualmente el 85% del consumo mundial de energía. Cada kilo de material combustible o

de carburante produce en promedio 3 Kg de  $\text{CO}_2$ . Ningún medio técnico permite retener este gas: él es arrojado al aire por chimeneas de fábricas y de viviendas, escapes de automóviles y motores de aviones. Cada año, 20,5 millones de toneladas de  $\text{CO}_2$  llegan a la atmósfera. Hasta ahora la mitad de este  $\text{CO}_2$  ha podido ser absorbido por los océanos, el resto se acumula en la atmósfera. Una pregunta surge enseguida: **¿Cuánto más podrá continuar la atmósfera absorbiendo este exceso de  $\text{CO}_2$ ?**

Hace 200 años, la cantidad de  $\text{CO}_2$  atmosférico se podía explicar por ciertos fenómenos naturales como las erupciones volcánicas. Desde la Revolución Industrial está claro que el hombre es el principal responsable.

En el curso del siglo veinte, la tala intensiva, el consumo masivo de Carbón, el gasto de las reservas de petróleo y de gas natural, han incrementado la concentración del  $\text{CO}_2$  del aire. En el año 1800, esta concentración era de 0,28 por mil; hoy día es de 0,35 por mil, lo que representa un aumento de un cuarto. Actualmente, la concentración aumenta aproximadamente 0,4% por año.

Los análisis de las burbujas de aire de muestras de perforación de hielo extraídas de la Antártida, muestran que, por primera vez desde hace 150.000 años, el aire contiene semejante concentración de  $\text{CO}_2$ .

La humanidad envía a la atmósfera 25 mil millones de toneladas de  $\text{CO}_2$  al año; 80% de este gas proviene de la combustión del petróleo, del carbón y del gas natural. El resto lo produce la deforestación. Sin embargo, el  $\text{CO}_2$  descargado a la atmósfera por las actividades humanas no es la única contribución del hombre al reforzamiento del efecto invernadero.

La mitad del calentamiento adicional del globo es consecuencia de los gases generadores del efecto invernadero. En primer lugar, encontramos el metano, cuya concentración en el aire aumenta 1% cada año. Este gas se produce por descomposición anaeróbica de la materia orgánica.

La duplicación de la concentración del metano atmosférico en los últimos 200 años está estrechamente ligada al aumento de la población mundial. Entre las principales fuentes de emisión de metano figuran la ganadería y los arrozales artificialmente inundados. Además grandes cantidades de este gas se escapan de los depósitos de basura, incendios de bosques y explosiones de gas natural. El crecimiento anual del metano en la atmósfera alcanza 12 millones de toneladas. Como el efecto reflejante de la molécula de metano es 20 a 30 veces superior a la de la molécula de  $\text{CO}_2$ , hace falta menos metano para recalentar la tierra.

Los CFC no solamente destruyen el anillo de ozono protector estratosférico, sino que c/u de sus moléculas provoca un efecto

invernadero 15.000 veces más intenso que la molécula de  $\text{CO}_2$ . Un millón de toneladas de CFC empleadas en sistemas de refrigeración, en los aereosoles y como solventes, se emiten c/año a la atmósfera, donde son responsables de 1/6 del calentamiento del globo.

Así dentro de la atmósfera baja, el ozono acelera el efecto invernadero. Esta sustancia tóxica se produce a partir de óxidos de N y de hidrocarburos bajo la acción de la luz solar. Los responsables de estas emisiones son sobretodo los automóviles, las calefacciones y la industria.

El óxido de N es otro responsable del aumento del efecto invernadero; su concentración en la atmósfera aumenta desde los años 50. Los responsables de este fenómeno son: el uso creciente de fertilizantes químicos, la quema y la combustión de recursos fósiles. Como todos los gases reforzadores del efecto invernadero actúan concomitantemente, las previsiones relativas a la perturbación climática, basadas en la duplicación de la cantidad de  $\text{CO}_2$  solamente, podrían ocurrir 40 años antes.

#### ¿ ES INEVITABLE EL CALENTAMIENTO ?

El planeta conoce periódicamente variaciones climáticas extremas. Estas tienen orígenes naturales como por ejemplo, las modificaciones de la trayectoria de nuestro planeta alrededor del sol, o la inclinación del eje de rotación terrestre, que someten al globo a períodos alternativamente calientes o glaciales. También las variaciones de las manchas solares o las grandes erupciones volcánicas pueden influenciar el clima durante períodos más cortos.

El recalentamiento de la tierra es inevitable. Todos los índices acumulados tienden a probar que el aumento del efecto invernadero es un hecho. Desde 1860, la temperatura promedio mundial ha aumentado ya  $0.7^\circ\text{C}$ . Los años más calientes, desde que el hombre registra seria y organizadamente los datos climáticos, fueron los años 80 de este siglo con 1988, 1987 y 1983 a la cabeza, y la tendencia continua con 1990 y 1991.

Las emisiones de gases que producen el efecto invernadero deberían provocar normalmente un recalentamiento de aproximadamente  $1,5^\circ\text{C}$ ; pero como los océanos retienen 50 a 70% de la radiación calorífica adicional, el recalentamiento no se resentirá plenamente más que dentro de 20 años.

Otras observaciones hechas en la naturaleza concuerdan con los pronósticos de los modelos climáticos; para no citar más que los principales: **el descongelamiento de los glaciales de montaña desde 1850, el recalentamiento excepcional de los suelos helados de Siberia y de Alaska, o el aumento constante de la temperatura superficial de las aguas marinas.**

Además, el nivel del mar se ha elevado 20 cm durante los últimos 100 años. Como la tierra envía menor calor al espacio, la región estratosférica media es cada vez más fría. Son estas temperaturas más bajas, justamente dentro de la zona donde se sitúa la capa de ozono que nos protege de los peligrosos rayos ultravioleta, las que favorecen la destrucción del anillo protector por los CFC.

Huracanes como el Gilberto, que en 1988 devastó el Caribe, no se forman más que en zonas marinas donde la temperatura del agua es de por lo menos 27°C. Los climatólogos calculan que la frecuencia de los huracanes aumenta con la elevación de la temperatura de las aguas. En otras regiones del globo sucederán ondas de calor, inundaciones y sequías. La multiplicación de las condiciones meteorológicas extremas hace que los meteorólogos estén persuadidos de que estos fenómenos son los primeros signos anunciadores de catástrofes climáticas.

### **MUCHAS PREGUNTAS Y POCAS RESPUESTAS**

Ningún científico puede actualmente afirmar cuales serán los efectos exactos de una elevación de la temperatura de algunos grados centígrados. En efecto, los intercambios que se producen entre la atmósfera, los continentes, los océanos y las masas glaciales, son de una complejidad tal, que las mejores calculadoras asociadas a los modelos matemáticos, no alcanzan a predecir las modificaciones climáticas regionales. Sin embargo, los modelos matemáticos tridimensionales permiten, dentro de cierta medida, evaluar las principales consecuencias de un calentamiento artificial de la atmósfera: se espera que el aumento de la temperatura no sea uniforme en todas partes, pero será más fuerte en las latitudes medias y altas. La aceleración de la evaporación podría secar rápidamente los suelos, lo que provocaría enormes pérdidas de cosechas.

Paralelamente a la pérdida de tierras fértiles por la sequía, se preve también una posible elevación del nivel del mar. En la actualidad, prácticamente la mitad de la población mundial vive en regiones costeras. Se podrían construir malecones para impedir ciertas inundaciones, pero no impedirían las infiltraciones de agua salada que contaminarían, tierra adentro, el agua potable y los suelos cultivables.

El calentamiento del globo provocará una elevación general del nivel de las aguas marinas por descongelamiento de los hielos polares y una dilatación de los océanos.

### **TERCER MUNDO**

Las poblaciones del Tercer Mundo son las más amenazadas por los efectos secundarios de un fenómeno planetario que ellos no han provocado. Las 3/4 partes de la población mundial habitan en los países en desarrollo; una mayoría responsable solamente del 20% del efecto invernadero. Los países industrializados, con

su gigantesco consumo de materias primas y de energía, son responsables del 80% del efecto invernadero. A la cabeza de los contaminadores, se sitúan los EE.UU., donde vive solamente el 4,7% de la población mundial, responsables ellos solos del 28% del efecto invernadero. Europa Occidental ocupa el segundo lugar.

La desigualdad reina también frente a la catástrofe: es evidente que los países ricos están en mejor posición de tomar medidas para proteger sus zonas costeras que los países del Tercer Mundo. La zona más amenazada por este efecto será el Asia donde vive el 60% de la población mundial.

Las sequías, la pérdida de tierras cultivables recubiertas por las aguas y la contaminación salina podrían engendrar nuevas hambrunas.

### **LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA AMENAZADA**

Las menores modificaciones de las temperaturas y de las precipitaciones bastan para perturbar los ritmos biológicos. La naturaleza es una vasta red de interdependencia, donde la vida de cada ser viviente depende estrechamente de la existencia de los otros. Cada "vacío" dentro de esta red puede provocar una reacción en cadena, con consecuencias fatales.

En las regiones polares, donde se prevén los más fuertes incrementos de temperatura, los ecosistemas estarán más amenazados. El recalentamiento climático diezmará también los animales salvajes del África. El tiempo seco perturbará su reproducción.

Las especies de los arrecifes coralinos sufrirán la elevación del nivel del mar y de violentas tempestades que se anuncian. El cambio climático podría ocurrir demasiado rápido y la fauna y la flora no tendrán el tiempo de desplazarse hacia otras regiones más clementes.

Una reducción masiva de los contaminantes no podrá detener inmediatamente el efecto invernadero, porque los gases responsables de este efecto permanecen largo tiempo en la atmósfera. En tanto que el metano se descompone en 12 años, el CO<sub>2</sub> tiene una duración de vida de aproximadamente 100 años en la atmósfera y los CFC y el óxido de Nitrógeno tienen una longevidad mayor todavía. La naturaleza necesitará de decenas de años para limpiar el aire de todos estos gases.

### **REFORESTAR EL PLANETA**

Para reequilibrar el clima global hace falta, no solamente limitar la utilización de los combustibles fósiles, sino además detener la deforestación. Solamente en las regiones tropicales, 200.000 Km<sup>2</sup> de bosque ombrófilo son arrasados cada año por el comercio de maderas, la sobreexplotación, las quemadas y las talas.

La deforestación genera enormes cantidades de CO<sub>2</sub> que estaban almacenadas en los árboles y el suelo. La destrucción de los bosques tropicales es responsable de por lo menos 1/5 parte de la emisión mundial de CO<sub>2</sub>.

Los países en vía de desarrollo, terriblemente endeudados liquidan sus recursos: los suelos pobres en materias nutritivas son rápidamente lavados, y la erosión destruye definitivamente los países. Las principales causas de la deforestación son: **la importación de maderas tropicales por los países industrializados, los intereses que los países en desarrollo deben pagar y los proyectos de desarrollo inadaptados al ambiente.**

#### DESERTIFICACION

Para detener el avance del desierto, los países industrializados deben limitar su consumo de maderas tropicales. La inportación de maderas, provenientes de bosques primarios debe ser prohibida. Además es necesario ayudar al Tercer Mundo a desarrollar una economía forestal cuidando la naturaleza. Es necesario favorecer las soluciones de intercambio que ligen la protección de los bosques a los reglamentos del pago de la deuda.

Para recuperar al menos una parte de las regiones invadidas por el desierto, es imperativo reforestar masivamente durante los próximos decenios. Es la única manera de combatir la erosión, los riesgos de inundación, la penuria de bosques y los problemas climáticos.

Ing. José Antonio Rangel, Ing. Marcelo González (Asesor)  
División de Cuencas e Hidrología, Dpto. de Hidrometeorología

### ANTECEDENTES INTRODUCCION

La reducida disponibilidad de los registros de acarreo de sedimentos, es un serio problema para cualquier estudio de aprovechamiento de recursos hídricos. Por otra parte la complejidad de los procesos que intervienen en la producción de sedimentos, limitado el desarrollo de modelos sencillos para inferir valores de acarreo en cuencas sin mediciones. Este problema ha sido abordado por numerosos investigadores con el propósito de poder estimar la producción media de los sedimentos en cuencas no aforadas o con cortos períodos de registro.

La estrecha relación entre los cambios de coberturas vegetal (o uso de la tierra) y la variación de la tasa de erosión de una cuenca, deben ser consideradas necesariamente en cualquier método de estimación o pronóstico de la producción media de sedimentos de una cuenca.

El uso cada vez mayor de parámetros que intervienen en diversos modelos de sedimentación hidrológica como: escorrentía, precipitación, áreas de drenaje, características geomorfológicas, vegetación, uso de la tierra, tipos de suelo, etc. proveen ventajas en cuanto a la utilización de la información física.

Esto ha generalizado (de acuerdo a su respaldo experimental) el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo conocida comúnmente como USLE (Universal Soil Loss Equation). Esta ecuación ha sido ampliamente usada para planificar el uso de la tierra y sobre todo orientar la adopción de prácticas conservacionistas en cuencas grandes y pequeñas.

La complejidad de información de entrada en la mayoría de los modelos conceptuales ha hecho atractivo la utilización del modelo matemático de Williams, en donde su basamento central incluye como variables hidrológicas, la escorrentía superficial ( $Q$ ), asociado al caudal pico ( $Q_p$ ) y como factores físicos a los mismos de USLE.

El modelo propuesto por Williams considera el cálculo de  $Q$  y  $Q_p$  a través de metodologías derivadas de SCS. (Soil Conservation Service), con este modelo se logra simular producción de sedimentos teniendo como variable principal de entrada la precipitación diaria.

La consideración propuesta en este trabajo supone el modelo planteado por Williams pero contemplando otro tratamiento para el cálculo de  $Q$  y  $Q_p$  para obtener la producción de sedimentos, teniendo igualmente como variable principal de entrada, la precipitación diaria.

## OBJETIVO

EL objetivo principal de este trabajo es desarrollar una metodología de cálculo que permita la estimación de la producción de sedimentos en suspensión .

La metodología desarrollada se basa en el acoplamiento de dos modelos : uno que determine el componente de escurrimiento superficial y otro que utiliza este escurrimiento superficial para determinar la producción del sedimentos en suspensión.

El primer modelo utiliza como base el modelo desarrollado por el National Weather Service de los Estados Unidos, el cual permite subdividir el escurrimiento total de una cuenca, pudiendose diferenciar el componente superficial que en definitiva es el principal mecanismo de arrastre de sedimentos en una cuenca. El modelo realiza esta estimación en intervalos de tiempo de seis horas.

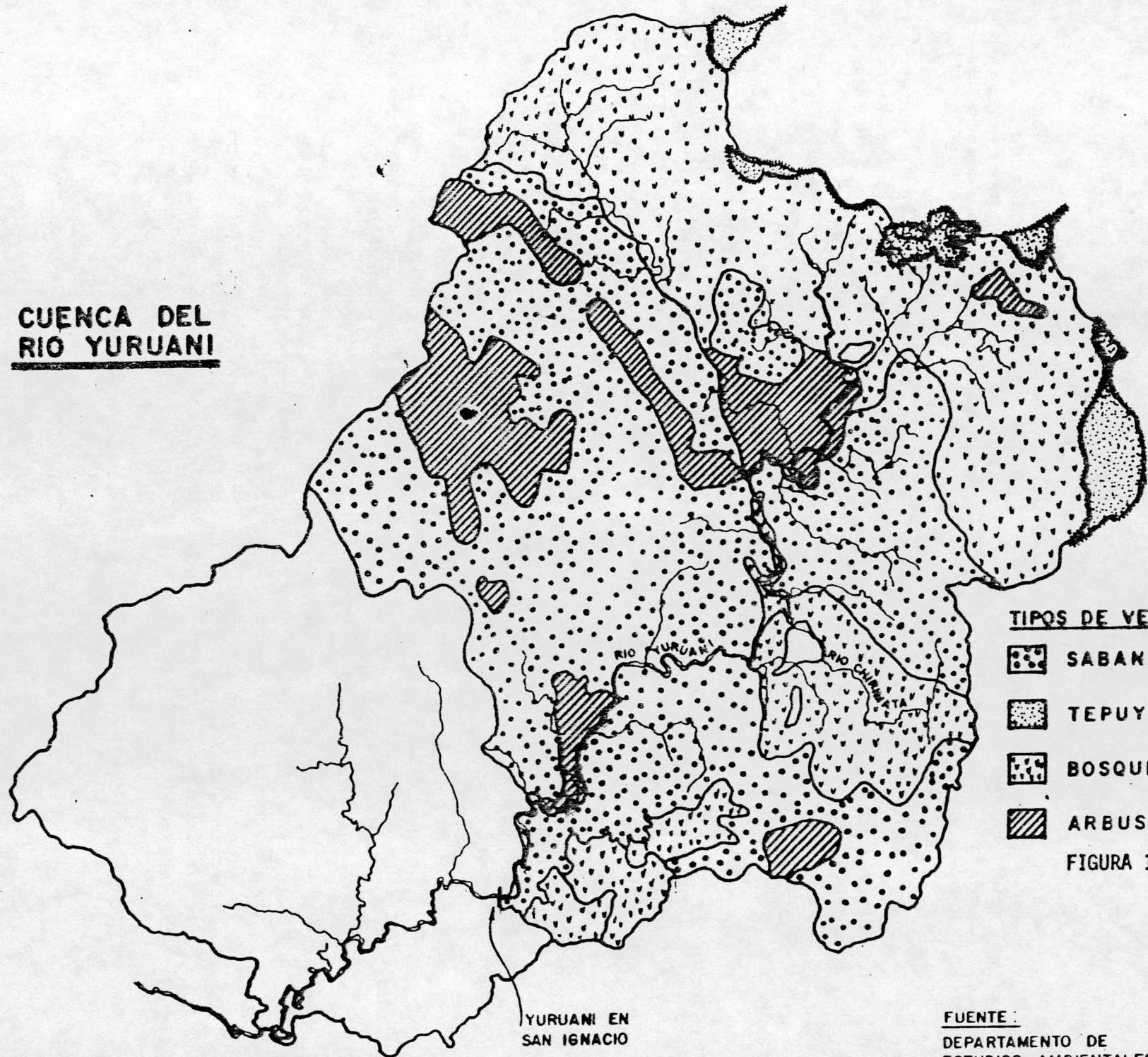
EL segundo modelo utilizado es el desarrollado y ya mencionado por Williams (1975) el cual es una modificación del USLE, que incorpora variables hidrológicas como picos y volúmenes de las crecientes en vez de precipitaciones mínimas utilizando los mismos coeficientes de la ecuación de USLE .

Debido a que el modelo hidrológico de escurrimiento (National Weather Service) estima el escurrimiento superficial y también el gasto pico asociado a los volúmenes de las crecientes se realizó la estimación del GASTO MAXIMO a través de una regresión lineal entre Gasto Medio en seis horas y el Gasto máximo instantáneo utilizando la información histórica observada.

Para el desarrollo y prueba de esta metodología se ha seleccionado como area de estudio la cuenca alta y media del Río Yuruani (afluente del Río Caroni) hasta la estación hidrométrica de San Ignacio de Yuruani.

Esta cuenca tiene un área de 1.291 Kms\*\*2 (hasta la estación) una vegetación característica que varia entre zonas de bosques, sabanas, arbustales y una pequeña porción cubierta de Tepuyes. En la figura 1 se ilustra la ubicación de los diferentes tributarios que integran la cuenca, la ubicación de la estación hidrométrica así como la distribución espacial de la vegetación.

CUENCA DEL  
RIO YURUANI



TIPOS DE VEGETACION





-  SABANAS
-  TEPUY
-  BOSQUES
-  ARBUSTAL

FIGURA 1

FUENTE:  
DEPARTAMENTO DE  
ESTUDIOS AMBIENTALES 1986.

## I.- Estimación de la Escorrentía Mensual

### I.1.- Introducción

Como fue referido en el objetivo general de este trabajo, general de este informe, la escorrentía mensual se estimó utilizando un modelo matemático lluvia-escorrentía. Dicho modelo fue calibrado utilizando la información de escurrimiento disponible en la estación San Ignacio sobre el río Yuruani y la información pluviométrica registrada en las estaciones San Ignacio de Yuruani, Yana (Convencional y Automática), Agua Fría y Santa Elena Uairen. Una vez calibrado este modelo se procedió a la simulación del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca pudiéndose la información de escurrimiento mensual para el período 1975-1988.

### I.2.- Selección del modelo lluvia-escorrentía

Dado que el interés primordial en este punto es estimar gastos diarios en cuencas con áreas de tamaño medio, los modelos que trabajan con lluvias desde el nivel horario hasta el diario parecen ser los más adecuados. Por estos motivos, se decidió utilizar en este estudio una versión modificada del llamado "National Weather Service River Forecasting System" (NWSRFS) (Burnash, et al., 1973). Este modelo trabaja con funciones volumétricas y de tasas hidrológicas ("Rate Functions") a partir de registros de lluvia que deben ser integrados en intervalos de seis horas. Internamente el modelo realiza todos los cálculos del proceso de infiltración desagregando las láminas de agua en profundidades de 5mm o menos.

En general, el modelo considera explícitamente la diferencia entre la zona no saturada y la zona de saturación del suelo. Igualmente toma en consideración el efecto de las áreas impermeables y las áreas parciales de saturación.

### I.3.- Calibración del Modelo de Simulación

#### I.3.1.- Segmentación de las cuencas

Las cuenca tributaria del río Yuruani fue dividida en tres segmentos, un segmento correspondiente a la cuenca del río Yuruani hasta la confluencia con el río Chirinató y otro que comprende la cuenca del río Chimaratá y finalmente un segmento que incluye la cuenca restante hasta la estación hidrométrica de San Ignacio de Yuruani.

### I.3.2.- Calibración del modelo

Con los datos registrados en la estación hidrométrica de San Ignacio se procedió a la calibración del modelo utilizando la lluvia promedio areal que se estimó en base a la lluvia observada en las estaciones: San Ignacio de Yuruaní, Kamá (Convencional y Automática), Agua Fría y Santa Elena de Uairén.

El resultado de esta calibración se ilustra en la Figura I.1

### I.4.- Aplicación del Modelo de Simulación

Una vez realizada la calibración del modelo se procedió a extender la serie de registros históricos de gastos en la estación San Ignacio de Yuruaní con el modelo calibrado, haciendo uso de los registros de precipitación de las estaciones San Ignacio de Yuruaní, Kamá (Convencional y Automática), Agua Fría y Santa Elena de Uairén durante el período 1975 - 1988. Los resultados obtenidos en esta simulación se indican en la Tabla I.1 se muestra un resumen de los principales estadísticos mensuales.

TABLA I.1.- Estadísticos mensuales del Gasto Medio Río Yuruaní hasta San Ignacio de Yuruaní. (M\*\*3/S)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ARO
MEDIA :	16.2	14.5	12.9	23.2	51.5	97.2	86.3	85.7	57.2	47.0	37.8	33.4	47.0
DESV STD :	4.1	6.1	5.9	19.3	25.4	44.4	53.1	42.7	28.9	17.5	23.2	21.4	13.9
MAX :	25.2	29.5	24.4	68.3	117.2	183.7	216.4	196.3	109.8	72.5	94.6	81.1	73.0
MIN :	11.5	6.3	5.7	4.6	15.6	36.5	24.0	41.3	21.6	18.1	14.3	14.7	26.1

# CALIBRACION MODELO BALANCE HIDRICO CUENCA DEL RIO YURUANI EN SAN IGNACIO DE YURUANI

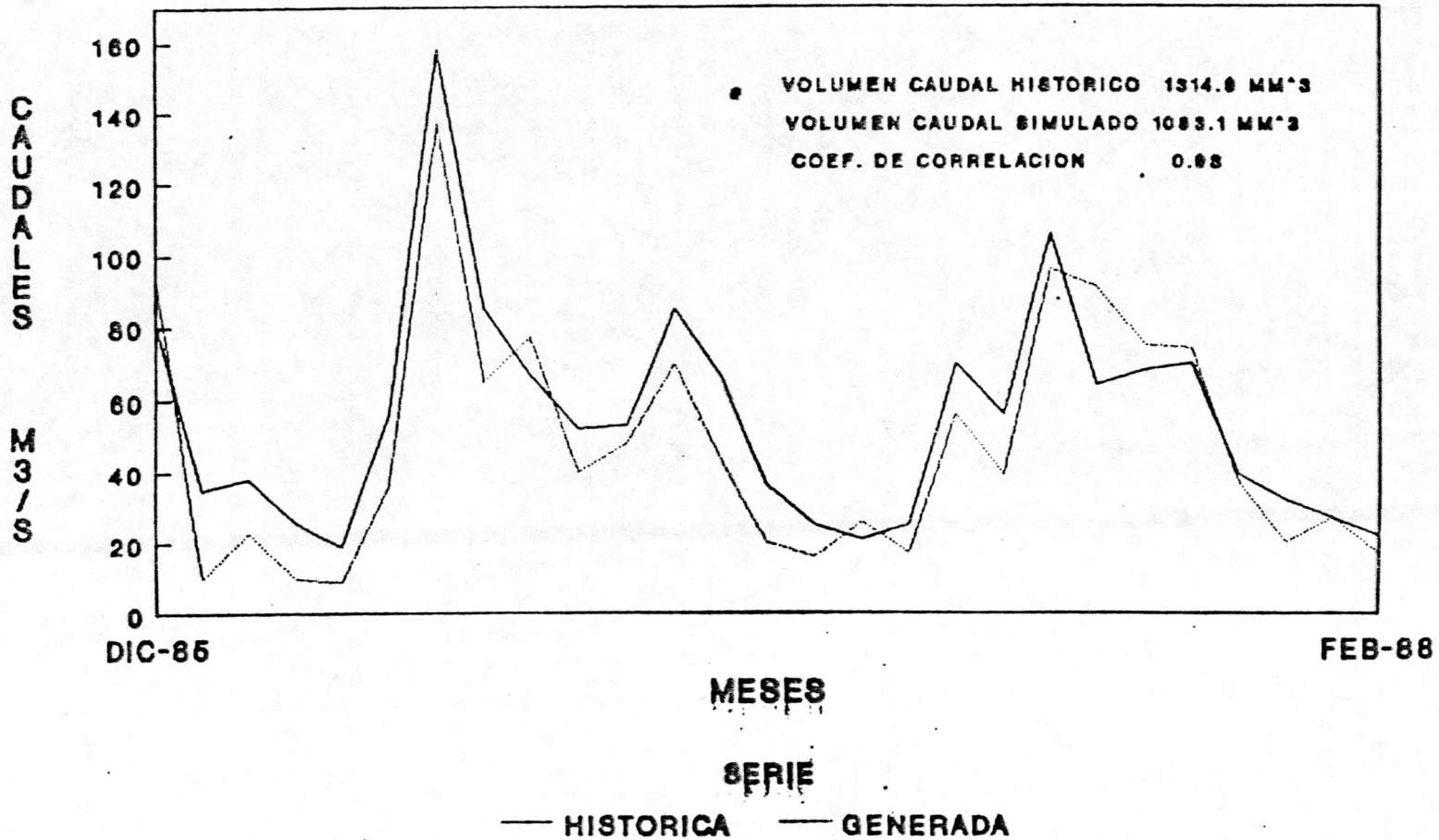


FIGURA I.1

## II.- Estimación de la Producción de Sedimentos

### II.1.- Descripción de la Metodología

La estimación de la producción de sedimentos en los sitios de interés para este estudio se dificulta debido a la escasez de información regional de este tipo de dato. En el sitio San Ignacio de Yuruani sobre el río Yuruani solo han sido realizados una veintena de aforos de sedimentos.

Motivado a la falta de información con respecto a la producción de sedimentos en las cuencas de la zona, fue necesario realizar un análisis teórico detallado, que permitiera la definición de módulos de arrastre total en términos de  $M^3/Km^2/año$ , como una función de las características de la vegetación en la zona.

Es importante destacar que esta metodología no incluye el sedimento producido por el deslizamiento de taludes de laderas y desprendimiento de las margenes del río, así como tampoco incluye en arrastre de fondo.

La metodología desarrollada para el cálculo del sedimento en suspensión se basa en la fórmula de Williams, 1975 (Metodo MUSLE, Modified Soil Loss Equation). Esta ecuación además de los parámetros de suelo y vegetación necesita de los valores de gasto máximo y volumen de la escorrentía superficial para cada evento de crecida. A tal efecto, se acopló a estos cálculos el modelo lluvia-escorrentía anteriormente usado en la estimación de rendimientos, diferenciando la escorrentía superficial de la subterránea. Una vez instrumentado el modelo completo que estima el arrastre sedimentos en la cuenca a partir de la lluvia, se variaron las magnitudes de los parámetros del modelo dentro de los rangos característicos de la cuenca.

La ecuación de Williams, la cual estima la producción de sedimentos en suspensión para cada evento de crecidas que se produzca en la sección de interés tiene la expresión siguiente:

$$Y = W K C P L S (Vq Qp)^{0.56} \dots\dots\dots (II.1)$$

Donde : Y : Sedimentos en Ton/evento  
W : Coeficiente de regresión que depende de las unidades utilizadas (Parámetros de calibración).

- $V_q$  : Volumen de la crecida en  $M^{**3}/S$   
 $Q_p$  : Caudal pico en  $M^{**3}/S$   
 $K$  : Factor de erosión que depende del tipo de suelo  
 $C$  : Factor que depende del tipo de vegetación  
 $P$  : Factor que depende del tipo de práctica de control de erosión.

$$LS = ( X / 22.13 )^{0.5} ( 0.045 + 0.045 S + 0.006 S^2 )$$

..... (II.2)

- $LS$  : Factor que depende de la longitud promedio de flujo en laderas y de la pendiente promedio de las laderas

- $X$  : Longitud promedio de las laderas en  $M$ , la cual se estima como,

$$X = ( 0.5 A / LTC ) * 1000.$$

..... (II.3)

- $A$  : Area total de la cuenca en  $Km^{**2}$   
 $LTC$  : Longitud total de los cauces de todos los ordenes integran la cuenca en  $Km$   
 $S$  : Pendiente promedio de las laderas en %

## II.2.- Estimación de la relación entre Volúmenes y Picos de Crecidas

La expresión II.1 necesita disponer como datos, los valores hidrométricos de los caudales máximos y volúmenes de las crecientes del río, ya que se supone que los gastos de estiaje no son significativos en la producción de sedimentos.

En el caso de cuencas donde se tengan las mediciones de las crecientes y se pueda conocer la escorrentía superficial de las mismas, el procedimiento correcto sería el de introducir la serie temporal de crecientes con sus picos y volúmenes superficiales, y con la fórmula anterior, calcular los sedimentos producidos en la historia del río.

El caso de cuencas sin un período de registros largos de escorrentía (como el de aquí estudiado) necesita disponer, previo a la aplicación de la ecuación de Williams, de un modelo que genere los datos de  $Q_p$  y  $V_q$  correspondientes a la escorrentía del sitio estudiado por un período de años representativos. Por este motivo, se decidió usar

la escorrentía superficial estimada en la estación San Ignacio de Yuruaní.

El modelo lluvia escorrentía utilizado produce datos de gastos para intervalos de seis horas lo cual permite tener una buena estimación del volumen de escurrimiento superficial, pero no así del pico de la crecida. Por este motivo, se buscó la correlación que existe entre picos y volúmenes de las crecidas. Esta correlación se estimó utilizando la información de registros históricos en San Ignacio de Yuruaní. A continuación se describe, el resultado obtenido en este análisis:

En este caso se utilizaron 770 valores históricos de caudales pico y caudales medios diarios correspondientes al período 11/85 a 02/88. Se probaron varios tipos de modelos de regresión, obteniéndose una mejor correlación con el modelo lineal.

$$Q_p = -4.49 + 1.3596 Q_d ; \text{coef. de corr.} = 0.958$$

..... (II.4)

donde  $Q_p$  es el gasto pico instantáneo y  $Q_d$  el gasto medio diario ambos en  $M^3/S$ .

### II.3.- Parámetros de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

La ecuación modificada de pérdida de suelos desarrollada por Williams (1975) (ecuación II ), utiliza la mayoría de los parámetros originales de la Ecuación Universal de Pérdida de los Suelos como lo son:  $K$ ,  $LS$ ,  $C$  y  $P$ . Para evaluar estos parámetros en la cuenca del río Yuruaní se procedió en la forma que se describe a continuación:

#### - Parámetro $K$

Este parámetro depende, principalmente de las características promedio de la textura y estructura de los suelos de la zona. De acuerdo a lo descrito en estudios anteriores (Barreat et. al., 1988) las características promedios de estos suelos son las siguientes :

- Textura :
 

Limo y arena fina	60 %
Arena	22 %
- Contenido de materia orgánica 35-50 %  
(rango que depende del tipo de vegetación)
- Estructura :  
Aproximadamente roca meteorizada
- Permeabilidad moderada a rápida

De acuerdo a la Figura 2.6 de la referencia Kirkby and Morgan, 1980 el valor de K debe ser aproximadamente igual a 0.25.

#### -Parámetro LS

Se cálculo hasta la estación de San Ignacio de Yuruani que la longitud total de los cauces de todos los ordenes en la alcanzan los 2258 Km y el área total de la cuenca es de 1290.5 Km<sup>2</sup> por lo tanto al aplicar la ecuación II.1 (derivada por Williams and Berndt, 1972), se obtiene que la longitud de las laderas de las cuencas es de 286 metros.

Por otra parte, de acuerdo a mediciones realizadas sobre los mapas topográficos de la cuenca se ha determinado que la pendiente promedio de las laderas es del orden del 16%

Con estos datos y la ecuación II.2 se llega a la conclusión de que el parámetro LS tiene un valor igual a nueve (9).

#### - Parámetro C

El parámetro C de la ecuación de Williams se estimó como:

$$C = \%B \ 0.001 + \%M \ 0.01 + \%S \ 0.02$$

..... (II.5)

donde %B es el porcentaje del área que tiene vegetación boscosa, %M es el porcentaje del área que tiene vegetación tipo matorral y/o arbustal y %S es el porcentaje del área que tiene vegetación tipo sabana. Los valores de 0.001, 0.01 y 0.02, son los valores típicos que recomiendan en la referencia Kirkby y Morgan (1980) para caracterizar los valores de C para bosques, matorrales y

sabanas, respectivamente.

De acuerdo a la Figura 1, donde se indica la distribución espacial de la vegetación en la cuenca se llega a la conclusión de que la cobertura vegetal es 35 % media (Morichales y arbustales), 20 % alta (Bosques) y 45 % baja (Sabana rala y densa). Usando estos datos con la ecuación anterior se obtiene que el valor de C de estar alrededor de 0.0117.

#### - Parámetro P

Este parámetro está relacionado con el tipo de práctica de control de erosión que se haya aplicado en la cuenca. En este caso no existen áreas donde se hayan aplicado prácticas de control de erosión, por lo tanto, el valor de P se fija igual a uno.

En la Tabla II.1 se muestra un resumen de los valores de los parámetros utilizados en la ecuación de Williams.

Tabla II.1.- Parámetros de la Ecuación de Williams

Parámetro	Valor estimado
K	0.25
X (m)	286.00
S (%)	16.00
LS	9.01
C	0.0117
P	1.00

Estos parámetros fueron estimados de acuerdo a tablas y ábacos de la referencia Kirkby and Morgan, 1980.

#### II.4.- Resultados obtenidos

Probablemente la única experiencia Venezolana sobre la aplicación de la ecuación de Williams en cuencas hidrográficas es el descrito en la referencia Velázquez y Córdova (1987), se utiliza como caso estudio la cuenca del río Boconó en su parte alta, hasta Puente Boconó. A diferencia con la

metodología aquí desarrollada, en el referido estudio se analiza el componente de escurrimiento superficial utilizando el modelo descrito por el Servicio de Conservación de Cuencas de los Estados Unidos, el cual es adecuado dado el tamaño de la cuenca (del orden de los 400 Km<sup>2</sup>). En el presente trabajo se ha sustituido este modelo por el desarrollado por el "National Weather Service" de los Estados Unidos, que se ajusta mejor a cuencas de gran magnitud como es el caso del río Yuruani.

En el estudio del río Boconó existían registros de sedimentos en suspensión con los que se realizaron estimaciones de los volúmenes de acarreo mensual, que permitieron efectuar la calibración de dicho modelo. Los resultados de esta calibración fueron satisfactorios tanto a nivel de escurrimiento medio mensual como de volumen de sedimento mensual, lográndose un coeficiente de correlación del orden de 0.95 en ambos casos.

Un aspecto importante que es conveniente resaltar de estos resultados, es que el coeficiente  $W$  de la ecuación de Williams (ecuación II.1), calibró para un valor 0.385 mientras que el valor obtenido originalmente por Williams fue de 11.8. Dado que esta variable representa un coeficiente de regresión el cual depende de las características y tamaños de las cuencas utilizadas en su derivación, en el presente estudio se considerarán ambos valores a fin de evaluar los resultados obtenidos.

Finalmente, en la producción de resultados se se consideró el análisis de usar datos de escurrimiento diario y la relación entre pico volumen dada la ecuación II.4.

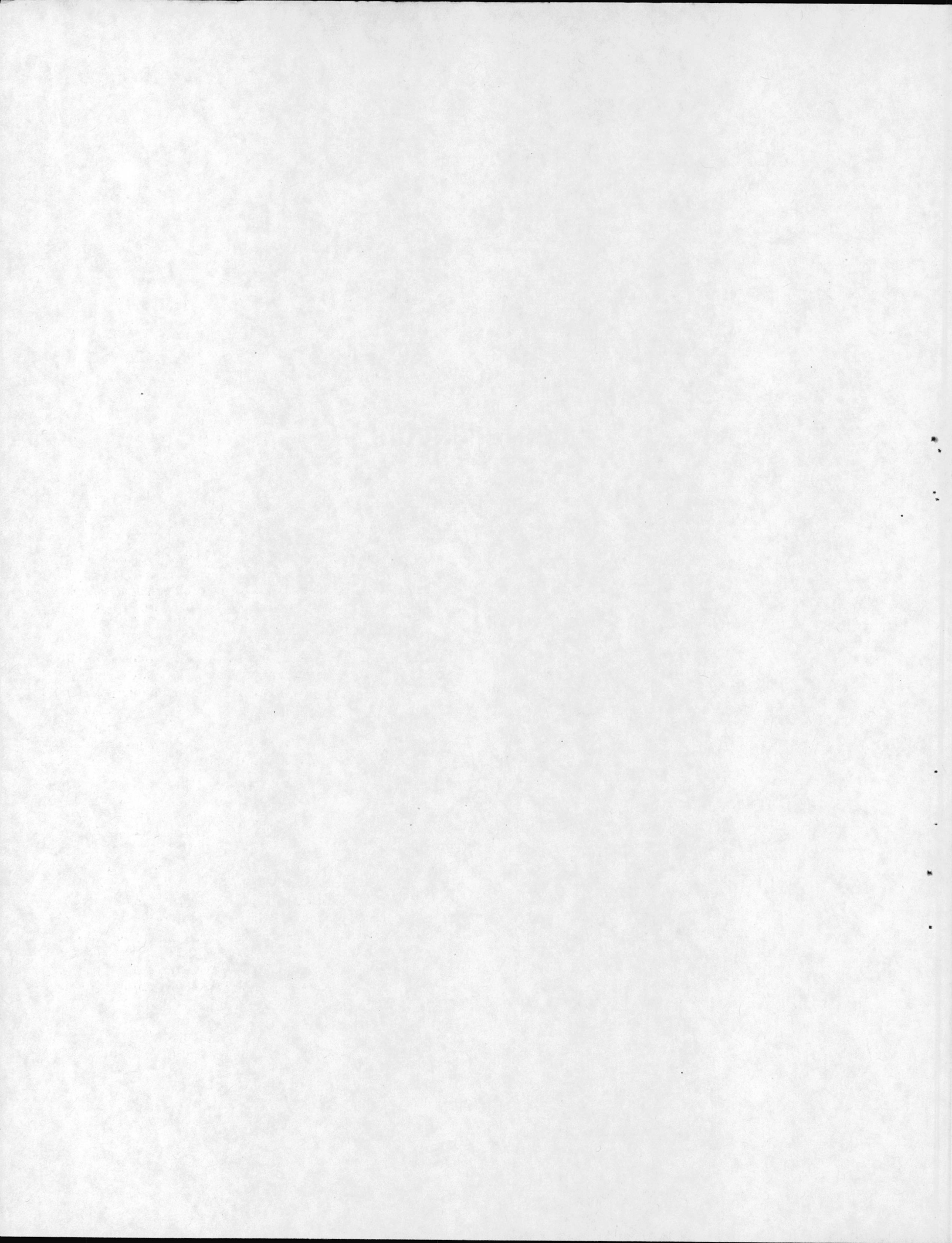
Los resultados obtenidos en este análisis se resumen en la Tabla II.2, en términos de módulos de arrastre de sedimento en suspensión expresados en Ton/Año/Km<sup>2</sup>.

Estadísticos	Ton/Año/Km <sup>2</sup>			
	I		II	
	W=0.385	W=11.8	W=0.385	W=11.8
Media	69.6	2133.2	64.2	1967.7
Desv. Est.	30.3	928.7	25.5	781.6
Cof. de Var.	0.43	0.43	0.42	0.42

De acuerdo al estudio realizado por Rada (1988), la producción de sedimentos en suspensión en el río Caroni hasta la estación de Aripichil (estimados a partir de información histórica de registros de sedimentos y ~~escorrentías~~) el ~~valor~~ estaba alrededor de  $100 \text{ Ton/AMO/Km}^2$ , por lo tanto, en función de los resultados de la Tabla II.2, en el caso del Río Yuruani el valor de  $W$  debe estar cercano al valor obtenido para Boconó o sea 0.385, y no al valor original derivado por Williams en cuencas Estadounidenses.

De todo este análisis y en función de los resultados obtenidos se establece una vez más la gran importancia que reviste el poder calibrar los modelos, motivo por el cual una de las recomendaciones de mayor peso es la gran necesidad que existe de realizar aforos y mediciones continuas que permitan una evaluación más precisa de los valores tanto de escorrentía media como de arrastre de sedimentos en esta cuenca piloto. Dado que ya existe definida la metodología y están implementados todos los modelos en el computador, con un año de mediciones de sedimentos que permitan evaluar el arrastre total mensual de sedimento en suspensión se puede lograr una buena calibración y extender estos registros a un período superior a los diez años de datos mensuales.

**conferencias**



# CAMBIOS SINOPTICO CLIMATICOS QUE INFLUYEN EN VENEZUELA

Antonio W. Goldbrunner

1. Como cambios climáticos pueden definirse las modificaciones de uno, varios o todos los factores que determinen el clima. Por lo general los cambios se acentúan en las variaciones de las temperaturas del aire y de las precipitaciones. Cambios climáticos pueden producirse en los microclimas, o en zonas y regiones de menor o mayor extensión, o en regiones macroclimáticas. Cambios climáticos pueden ser provocados por causas naturales o por influencia de las actividades humanas. Los cambios climáticos pueden introducir modificaciones en la circulación atmosférica al provocar el desplazamiento de los centros de Altas y Bajas presiones y en consecuencia el movimiento de los fenómenos sinópticos tales como por ejemplo los frentes fríos y cálidos, ciclones tropicales, ondas del este. En este caso se habla de cambios sinóptico-climáticos.
2. Los cambios paleoclimatológicos se originaron exclusivamente por causas naturales y según sus características se produjeron cambios climáticos definitivos o cambios cíclicos, los que más bien pueden llamarse fluctuaciones climáticas. Entre estos fenómenos pueden destacarse los últimos períodos glaciales cuyos orígenes aparentemente se deban a las variaciones de los parámetros de la órbita terrestre, tales como la excentricidad de la órbita de la tierra, la precesión del perihelio de la órbita y la inclinación del eje de la rotación de la tierra (Fig. 1). Estas variaciones cíclicas implican cambios estacionales de la insolación y de su distribución meridional. Los ciclos correspondientes a estos parámetros son de 100.000, 19.000 a 23.000 y de 40.000 años respectivamente. Hay evidencias de variaciones cíclicas de las temperaturas dentro de períodos de 20.000 y 40.000 años y hay conclusiones respectivas el ciclo de 100.000 años en relación a los glaciales. La actividad de manchas solares con su ciclo de 11 años probablemente no tiene influencia directa en el clima mundial, pero se está analizando los efectos de variaciones a largo plazo y la modificación de circulación estratosférica.

Entre las causas de cambios definitivos del clima a muy largo plazo, indudablemente juega un papel preponderante la deriva de los continentes (Fig. 2). La gradual modificación de la distribución del mar y de la tierra, en los últimos cientos de millones de años y también en los próximos, tiene un impacto inmenso sobre las corrientes del mar y del flujo del aire, los que transportan el calor de las regiones tropicales hacia los polos.

Al considerar la historia del clima, en los últimos millones de años, se caracteriza este período por ciclos alternativos de períodos interglaciales y glaciales (Fig. 3). La temperatura global ha variado entre 9 y 11°C durante los tiempos más fríos de los períodos glaciales y entre 14 y 16°C durante los períodos interglaciales. Hace 125.000 años, la temperatura media fue algo más alta que 16°C, es decir tan alta como actualmente. Hace 13.000 años terminó el último período glacial. El actual período interglacial comenzó cerca de 10.000 años atrás y las temperaturas más altas en este período se observaron hace 6.000 años. La amplitud de la temperatura entre el último período glacial y el actual período interglacial es cercana de 4 a 5°C, lo que condujo a una reducción apreciable del hielo.

En el reciente registro histórico se manifiestan variaciones cercanas de 1°C. Por ejemplo, hace 1.000 años hubo calor y entre los años 1.400 hasta 1.850 de nuestra era se produjo "UNA PEQUEÑA EDAD GLACIAL".

Al reconstruir la historia del clima, se anota por lo general una estrecha correlación positiva entre la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico y la temperatura del aire. Esta relación es demostrada en la Figura 4 en la cual se relaciona la variación de la concentración del CO<sub>2</sub> y de la temperatura relativa en los últimos 160.000 años. Este análisis es basado en las observaciones por medios isotópicos del hielo efectuado por científicos rusos en la estación VOSTOK en la Antártida. La concentración del CO<sub>2</sub> varía entre 180 y 200 ppm durante períodos glaciales y entre 280 a 300 ppm en los períodos interglaciales. La concentración en el año 1800, es decir antes de producirse la industrialización, fue algo de 280 ppm y es actualmente cercana de 350 ppm. El cuadro del incremento de las concentraciones del CO<sub>2</sub> en Mauna Lo-Hawai y de la estación Antártica Simple (Fig. 5) no puede ser más drástico.

En tiempos prehistóricos se produjeron cambios climáticos casi inmediatos. Se originaron por ejemplo en el último período glacial más de 15 cambios exabruptos regionales de la temperatura de 3 hasta 5°C, los que se prolongaron sobre 100 años o menos, pero sorpresivamente estos cambios no afectaron substancialmente la concentración del CO<sub>2</sub>.

Entre los casos de cambios rápidos del clima en épocas recientes hay que mencionar:

- La subida rápida de 3 hasta 7°C dentro de pocos años en la temperatura del Artico, comenzando con el año 1920.
- En los primeros años de la década de los sesenta se originaron precipitaciones extraordinarias en Africa Oriental Ecuatorial, y el Río Nilo Blanco tenía el doble del volumen de agua. El nivel del agua del Lago Victoria subió casi repentinamente en 2,5 metros.
- En los años 1982/83 se produjo el más intenso fenómeno del "NIÑO".
- En 1968 se produjo la más desastrosa sequía en la zona Sarheliiana, la que con pocas interrupciones, continúa todavía.
- Casi simultáneamente con la sequía Sarheliiana se presentó en los años 68/70 la llamada sequía del Guárico, en la cual se redujo hasta en 35% la precipitación (Fig. 6).

3. En Venezuela, el registro histórico más largo de la temperatura se debe a las observaciones del Observatorio Cajigal desde el año 1891 (Fig. 7). En este registro pueden observarse cuatro fases. La primera fase cubre el decenio 1891/1900 hasta los años 1911/20 en el último decenio nombrado, donde las temperaturas medias anuales descendieron substancialmente de 20.6°C hasta 19.1°C, observándose la mínima anual de 18.3°C en el año 1917. La segunda fase con temperaturas ascendentes puede señalarse de 1921/30 hasta el decenio 1941/50 con temperaturas medidas de 20, 5°C, valor casi similar de aquel período 1891/1900. La tercera fase comprende las décadas 1951/60 con valores de 20.8°C hasta 1961/70 con el mismo valor. No variaron en este período sustancialmente las temperaturas. A partir de 1971/80 (cuarta fase) empezaron a aumentar gradualmente las temperaturas.

Una evaluación conjunta del Registro del Observatorio Cajigal con aquel de Maracay, hace suponer que en los últimos 100 años se produjo una fluctuación climática natural, de un ciclo de 560-60 años que debería haberse repetido, aunque menos acentuada, a partir de la década 1941/50. Pero el crecimiento impetuoso de la Ciudad de Caracas modificó el balance radiativo de esta urbe y en consecuencia se produjo el calentamiento local de la atmósfera. Al terminar la década de los 90, se puede evaluar si este aumento de la temperatura es local o es consecuencia de un cambio climático mundial.

4. La superficie de la tierra y la atmósfera se calientan por la absorción de la radiación electromagnética del Sol (Fig. 8). Al mismo momento, la superficie y la atmósfera emiten una radiación larga (infrarroja) hacia el espacio. La energía media anual emitida hacia el espacio exterior del sistema tierra/atmósfera en forma de ondas largas térmicas corresponde a la energía absorbida por la tierra y su atmósfera en forma de radiación corta. **Cualquier perturbación en este balance** conduce a una disminución o a un crecimiento en la temperatura de la tierra. Los gases y los aerosoles de la atmósfera juegan en este balance un papel preponderante en este sistema llamado EFECTO INVERNADERO, ya que los gases residuales de la atmósfera por sus propiedades químicas y radiactivas muy eficaces pueden provocar el calentamiento de la superficie de la tierra y de la atmósfera baja, debido a que ellos son muy transparentes a la radiación solar, pero absorben por otro lado una gran porción de la radiación infrarroja térmica de la superficie terrestre. Un cambio abundante de estos gases residuales radiactivos muy activos tiene un impacto directo sobre la temperatura de la tierra.

Actualmente, el efecto invernadero está intensificándose debido al incremento de la concentración de los gases residuales de la atmósfera por las actividades humanas, es decir por la industrialización (Fig. 9).

Una mayor porción de la irradiación de la superficie de la tierra es absorbida por los gases del invernadero y parcialmente irradiado otra vez hacia la tierra (contra irradiación). En consecuencia el balance de radiación en la cima de la atmósfera queda positivo. La tierra pierde menos energía y su superficie se calienta. Tal

aumento de la temperatura es influenciado por muchos mecanismos químicos-físicos en el sistema climático de la atmósfera y puede ser solamente obtenida por estimación. De allí, los diferentes modelos de cálculo en los cambios climáticos.

Los gases residuales de mayor efectividad en la atmósfera son el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> y asimismo, las combinaciones CFC, porque absorben la radiación solar en aquellas bandas espectrales en las cuales el vapor de agua de la atmósfera permite pasarla, específicamente en las bandas espectrales de ondas largas. Aunque la concentración en ppb o ppt de la mayoría de los gases es muy por debajo del CO<sub>2</sub>, sus efectividades son por otro lado muy por encima de esta. La efectividad de una molécula CH<sub>4</sub> por ejemplo es 32 veces mayor que aquel de una molécula CO<sub>2</sub>. La de una molécula N<sub>2</sub>O es 150 veces mayor y la efectividad de una molécula de CFC es 15.000 veces mayor que la de una molécula CO<sub>2</sub>. El CH<sub>4</sub> además provoca procesos químicos en la atmósfera superior. El ozono absorbe la radiación en la banda de 9.6  $\mu$ m y también absorbe la radiación casi total en la banda ultravioleta. Su efecto invernadero consiste en el calentamiento de la troposfera al absorber toda la radiación terrestre en la zona infrarroja. Por otro lado, especialmente los gases CFC y el N<sub>2</sub>O son destructores de la capa de ozono en la estratosfera y causan cambios en la estructura química de la troposfera.

Cambios en la composición química de la troposfera producen adicionalmente las emisiones de los gases CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CH<sub>4</sub> y ozono. Por ejemplo se originan lluvias ácidas, smog y otros fenómenos.

No se debe olvidar a las emisiones de aerosoles líquidos y sólidos por la industria. Sus mayores efectos sobre la atmósfera hay que buscar en las modificaciones de las propiedades ópticas de las nubes y en el comportamiento de las nubes.

5. Existen múltiples modelos simulados para demostrar los cambios climáticos que se producirán dentro de las próximas décadas de años. Aparentemente los cambios climáticos son relacionados con el incremento del CO<sub>2</sub>, cuya concentración, según algunas estimaciones extremas puede alcanzar acerca de 600 ppm en alrededor de 40 años (Fig. 10).

Según los cálculos hechos a base del desarrollo de la industria mundial y como exceso, partiendo que la humanidad no tome precauciones para frenar o disminuir la producción de este gas, el CO<sub>2</sub> es en el 60% de los casos involucrado en los cambios de la temperatura, basado en que la concentración llega al valor de 600 ppm, esto generará un aumento general de la temperatura media de la tierra - o más bien dicho a 2 . sobre la superficie de la tierra de 4 - 5°C.

Puede entonces simularse un modelo contentivo del incremento de las temperaturas en las diferentes latitudes y en el espacio. En las zonas polares, por ejemplo, el incremento alcanzará más de 10°C y en las zonas tropicales alcanzarán valores de menos de 2°C. En la atmósfera libre de Venezuela corresponderá un aumento de cerca de 0.5°C en la superficie, en 850hPa será de 1.5°C, en 700 hPa de 2.5°C y en 500 hPa de 3°C (Fig. 11).

En la característica termodinámica de la atmósfera libre en Maracay se producirá una ligera estabilización ya que los incrementos de temperatura son mayores en la altura. Pero en resumen general la atmósfera continuará con su inestabilidad condicional, es decir cualquier aumento sustancial en la temperatura de la superficie originará la formación de nubes convectivas. El incremento de la temperatura en la atmósfera libre adicionalmente aumentará la humedad atmosférica en alrededor de 5-20%, lo que transformará las características físicas de las nubes y las precipitaciones probablemente aumentarán en un 5-10%.

En caso de producirse un cambio de la temperatura media anual del mundo de +2.5°C solamente (Fig. 12) los valores latitudinales de la temperatura se reducirán en las zonas polares, pero no afectarán sustancialmente las características termodinámicas en las zonas tropicales. En el polo el incremento será de +4°C, a 80° de latitud de +3°C, a 60°N de +2°C, a 40°N de 1°C y en las zonas tropicales cercana de 0.5°C.

Tal incremento de las temperaturas latitudinales tiene la consecuencia que las isotermas anuales del Hemisferio Norte se desplazan hacia el Norte (Fig. 13). Por ejemplo la isoterma 0°C estará en alrededor de 60°N y la isoterma 18°C se ubicará cercana de 40°N, en vez de 55° y 30°N. La zona tropical definida por Koeppen como región con 180°C de temperatura media anual, se extenderá en unos 500-1000 Km hacia el Norte.

La zona tropical en el mundo se extenderá hasta 40°N (y 40°S en el Hemisferio Sur). Esta zona es el motor de la circulación atmosférica, debido a que suministra energía calórica hacia las zonas templadas y polares y cubrirá en el futuro una porción muy extensa del Globo Terrestre.

Con respecto al desplazamiento de la isoterma 0°C hacia el Norte, es necesario mencionar que esto causará el deshielo de todos los glaciares a los menos en todas las regiones entre 65° y 70°N.

- 6 En consonancia con el cambio de las isotermas anuales descritas, y basado en la experiencia cotidiana de los fenómenos sinópticos, se presume que la circulación global sufrirá el mismo desplazamiento hacia el Norte (Fig. 14 y 15) El viento a chorro que actualmente circula entre 45° y 60°N alrededor de la tierra, se desplazará a 60° hasta 75°N. Por su íntima conexión con el frente polar, los frentes fríos y cálidos se originarán a mayores latitudes, y por tal razón la faja de los ciclones de las zonas templadas sufrirán el mismo desplazamiento. En estas zonas entre 60 y 75°N se originarán cambios completos de tipo sinóptico climático. Un climatólogo del Instituto Geofísico de St. Petersburg describe este cambio como la formación de un nuevo paraíso con lluvias y temperaturas agradables que dan lugar a abundantes cosechas en vez del Permafrost de las Tundras y Taigas de zonas siberianas.

El movimiento de la zona de las actividades ciclónicas hace también suponer -y la experiencia sinóptica así constata- que el cinturón anticiclónico con sus células de altas presiones emprenden también el mismo movimiento hacia zonas más norteñas lo que significará que todos los países europeos y mediterráneos de Europa y Asia sean afectados por sequías, lo que ocurrirá también en las regiones norteamericanas entre 30° y 45°N.

El anticiclón de las Bermudas, el que "maneja" actualmente los períodos secos en Venezuela y cuyo centro todavía se encuentra por lo general entre 25 y 30°N, se desplazará hacia 30 y 45°N. Disminuirá así más aún el gradiente bórico entre 30°N y 10°N, por lo que se presume que disminuirá la intensidad del Alisio del NE en las zonas caribianas del Norte de Venezuela y para Venezuela misma habrá un aumento sustancial en la frecuencia de las Calmas (Fig. 16). Con este desplazamiento de la alta presión de las Bermudas disminuye, además, la influencia anticiclónica en la altura sobre Venezuela. Los "Veranos" o los períodos secos entre Diciembre y Abril no serán entonces tan "fuertes" sino habrá interrupciones por períodos nubosos lluviosos.

Debido a que la actividad ciclónica con sus frentes se desplazará hacia el norte, será mucho menos frecuente el avance de la cola sureña de frentes fríos en la superficie y de vaguadas en la altura del NW hacia las costas de Venezuela.

El incremento de la temperatura en la zona tropical bastará para que la superficie del mar alcanzara más frecuente temperaturas mayores de 27.5°C. Lo que hace suponer que habrá mayores casos de formación de huracanes en el Atlántico al Este de la Isla de Barlovento y en el Mar Caribe Oriental. Por la falta del "flujo guía" en la altura ejercida en la actualidad por el Anticiclón de las Bermudas, las trayectorias de tales huracanes, no obstante, serán de tipo irregular y estarán tambaleando en su movimiento sobre el Mar Caribe. Las llamadas "Ondas del Este" de origen Africana y de Atlántico Tropical se observarán en su movimiento a mayores latitudes por lo que no afectarán las costas norteñas de Venezuela.

Durante la mayor parte de los meses del año, todo el país estará bajo la influencia de la hondonada intertropical, una zona de relativa menor presión atmosférica, el límite norteño de esta franja estará ubicada sobre el Mar Caribe Oriental, al norte de la costa venezolana. Por el hecho que la intensidad del flujo correspondiente el Alisio del NE y simultáneamente aquel del SE del Hemisferio Sur disminuirá, se estima que no se presentará el nítido sistema de nubes actuales de la convergencia intertropical, por el contrario se observarán porches de nubes convectivas mezcladas con zonas de nubes bajas y zonas claras. Pueden también presentarse en el Atlántico bandas nubosas latitudinales cercana de los límites norteño y sureño de la hondonada, similar a las dos bandas actuales frecuentemente observadas en el Océano Pacífico. El hecho que Venezuela estará dentro de la influencia de la hondonada intertropical define para el país un régimen casi exclusivamente convectivo. Es decir el desarrollo diurno de nubes convectivas produciéndose precipitación en forma de chaparranos.

El período de sequía, en consecuencia, se reducirá considerablemente a períodos más cortos con interrupciones frecuentes por períodos nubosos lluviosos.

7. En resumen, los cambios climáticos provocados por la industrialización, están íntimamente relacionados con los cambios del efecto invernadero. Los cambios tendrán consecuencias irreparables en las zonas templadas y polares. De allí, que los países de todo el mundo deben reunirse para analizar las consecuencias y tomar acción sobre los problemas de los desperfectos que causa la emisión de gases industriales a la atmósfera, que es común para todo el mundo. La Primera tendrán consecuencias irreparables en las zonas templadas y polares. De allí, que los países de todo el mundo deben reunirse para analizar las consecuencias y tomar acción sobre los problemas de los desperfectos que causa la emisión de gases industriales a la atmósfera, que es común para todos los países. La Primera Conferencia Internacional sobre el Medio Ambiente, celebrada en junio 1972 en Estocolmo-Suecia, ha despertado en todo el mundo el interés. Se espera que la Segunda Conferencia sobre el Medio Ambiente en junio 1992 en Río de Janeiro-Brasil, tome las decisiones adecuadas para resolver los problemas relacionados con los cambios climáticos artificiales.

Es necesario destacar que las zonas tropicales serán las menos afectadas por dichos cambios, los efectos son relativamente benignos hasta que puedan definirse como útiles respecto al esperado aumento en 5-10% de la precipitación actual.

Al finalizar, no debería olvidarse de mencionar que del punto de vista de las grandes fluctuaciones climáticas naturales, la tierra está precisamente en el final de un período interglacial. Esto significa que en los próximos cientos y miles de años, la temperatura global gradualmente bajará hasta que llegara a ser otra vez de 11-13°C Como se arreglará la naturaleza.

#### REFERENCIAS:

- PROTECTING THE EARTH'S ATMOSPHERE
- INFORME DE LA COMISION DE ESTUDIOS BUNDESTGA DE LA REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA BONN, 1989.
- THE CHANGING ATMOSPHERE
- ACTAS DE LA CONFERENCIA, TORONTO, CANADA,
- Publi. OMM N° 710, 1989.
- GLOBAL OZONE RESEARCH AND MONITORING PROJECT-REPORT N° 20 OMM/1989.
- ATMOSPHERIC OZONE, VOLUME I, II, III? 1985
- GLOBAL OZONE RESEARCH AND MONITORING PROHECT, REPORT N° 16 OMM, 1985
- IRA. DECLARACION SOBRE CAMBIOS CLIMATICOS EN VENEZUELA
- COMISION NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA, CONICIT, 1991

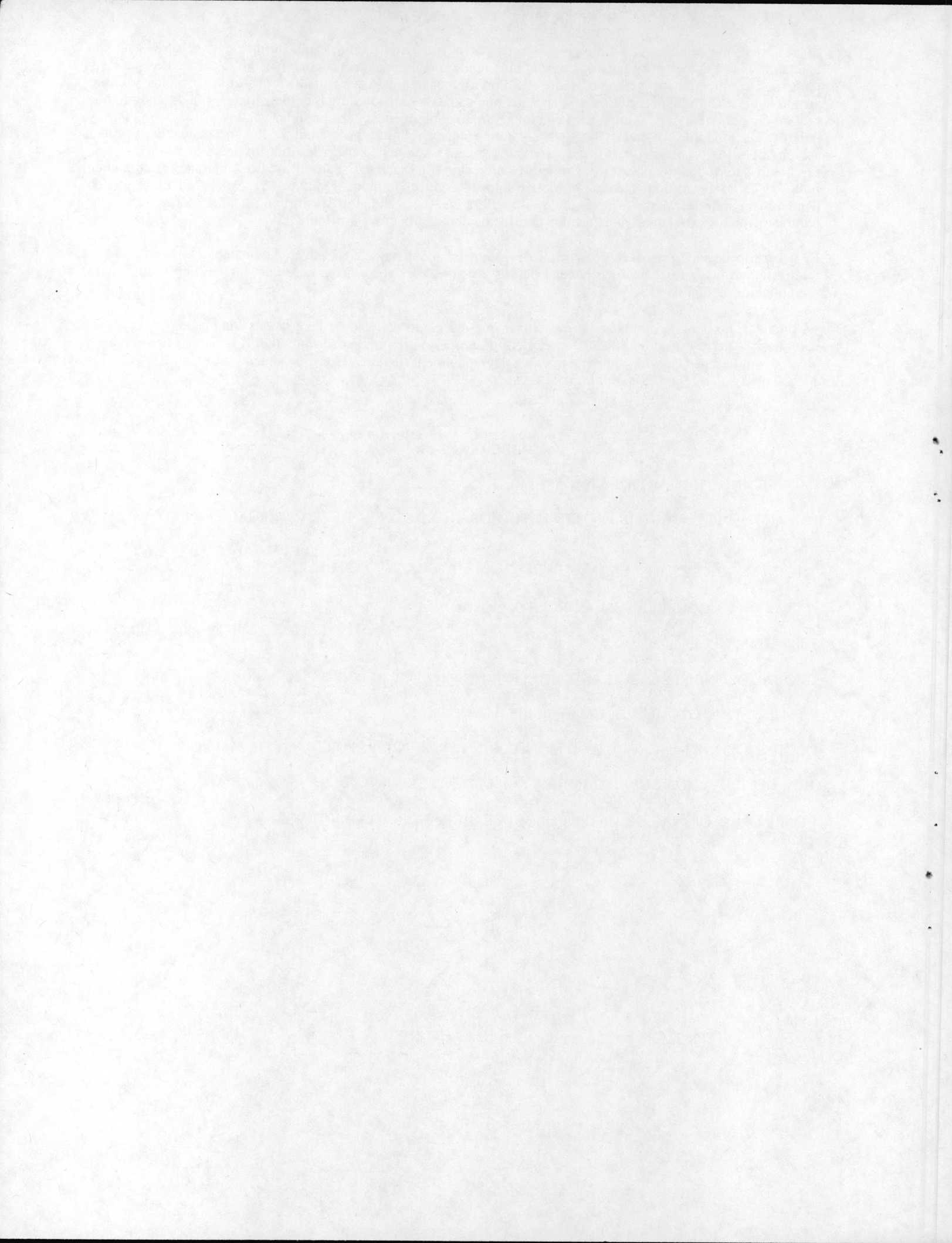
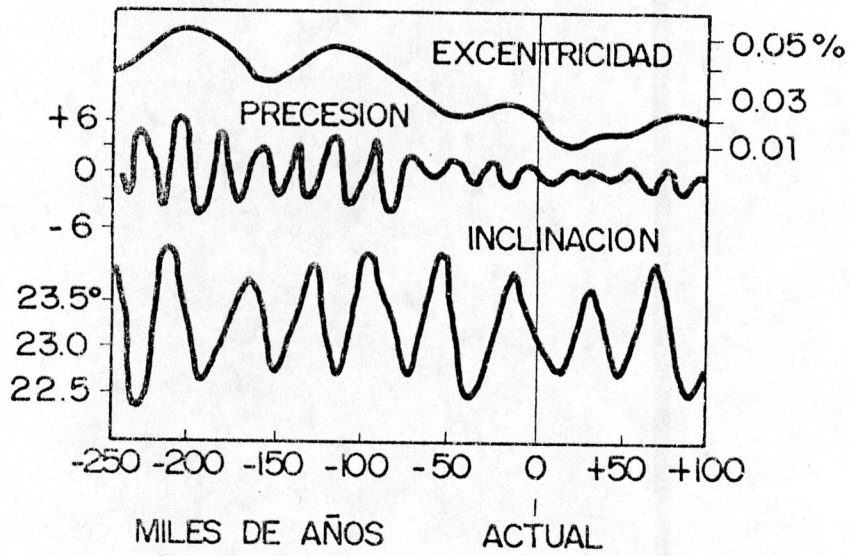


FIG. 1

VARIACIONES  
DE LOS PARAMETROS DE LA  
ORBITA TERRESTRE



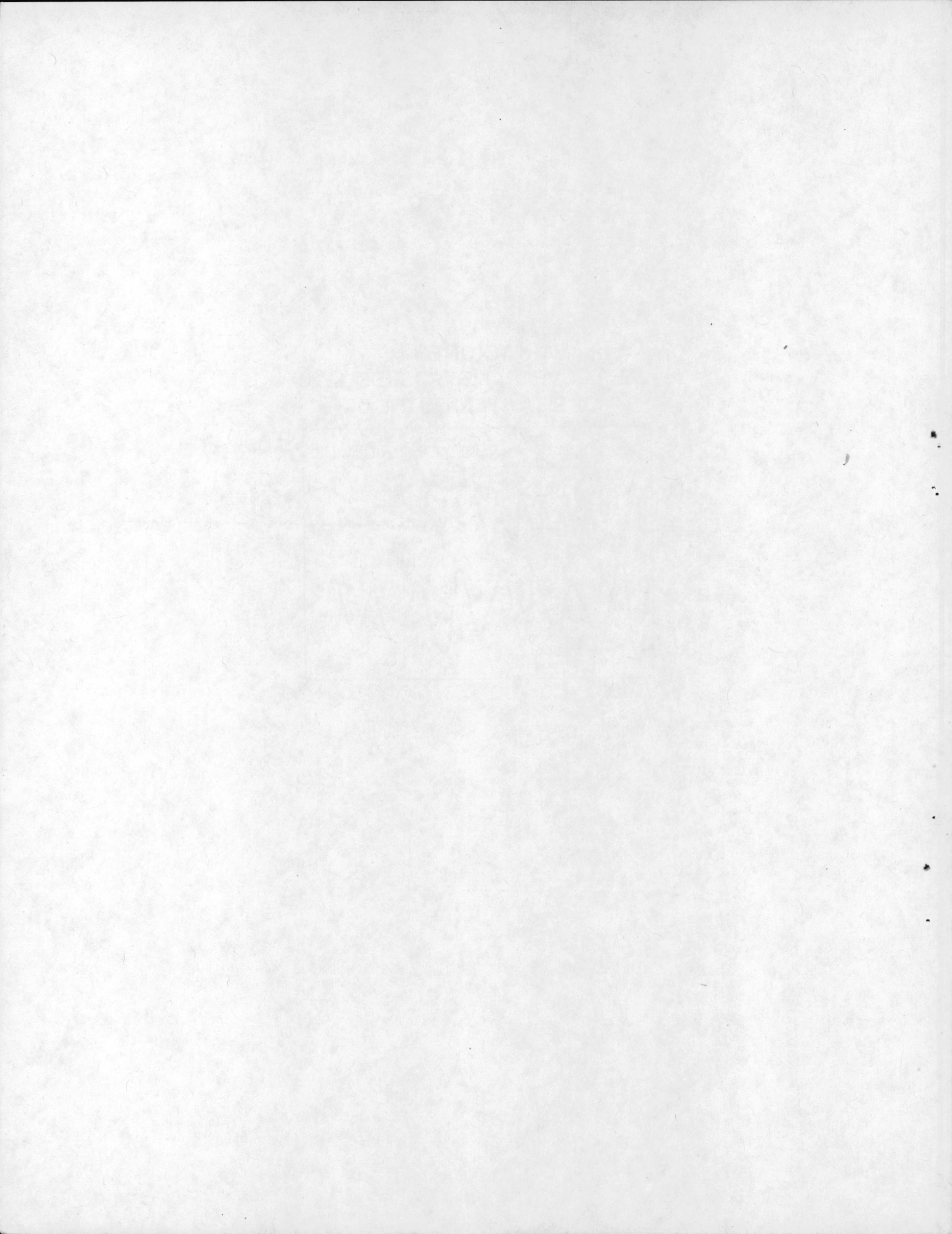
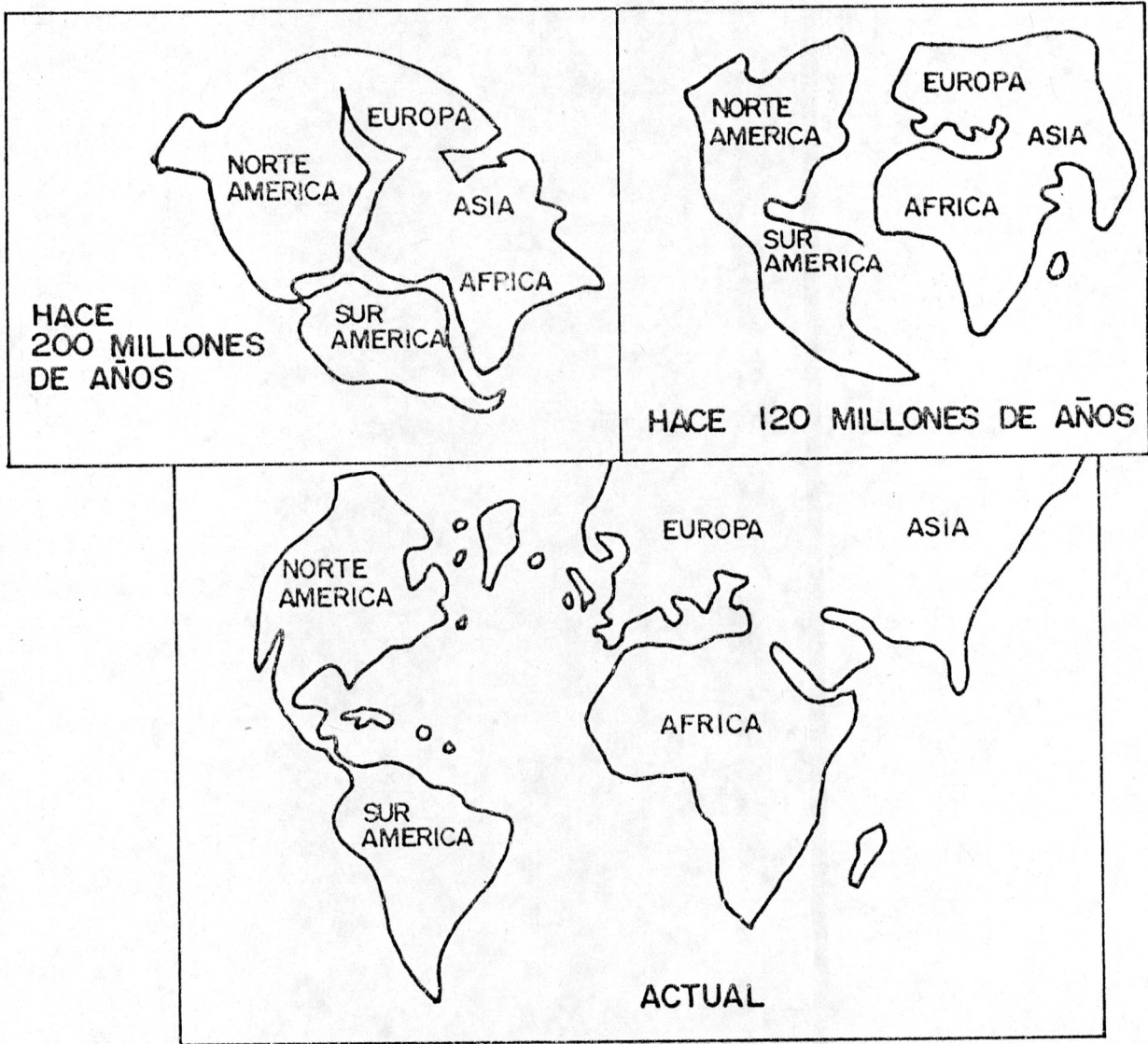


FIG. 2

LA DERIVA DE LOS CONTINENTES



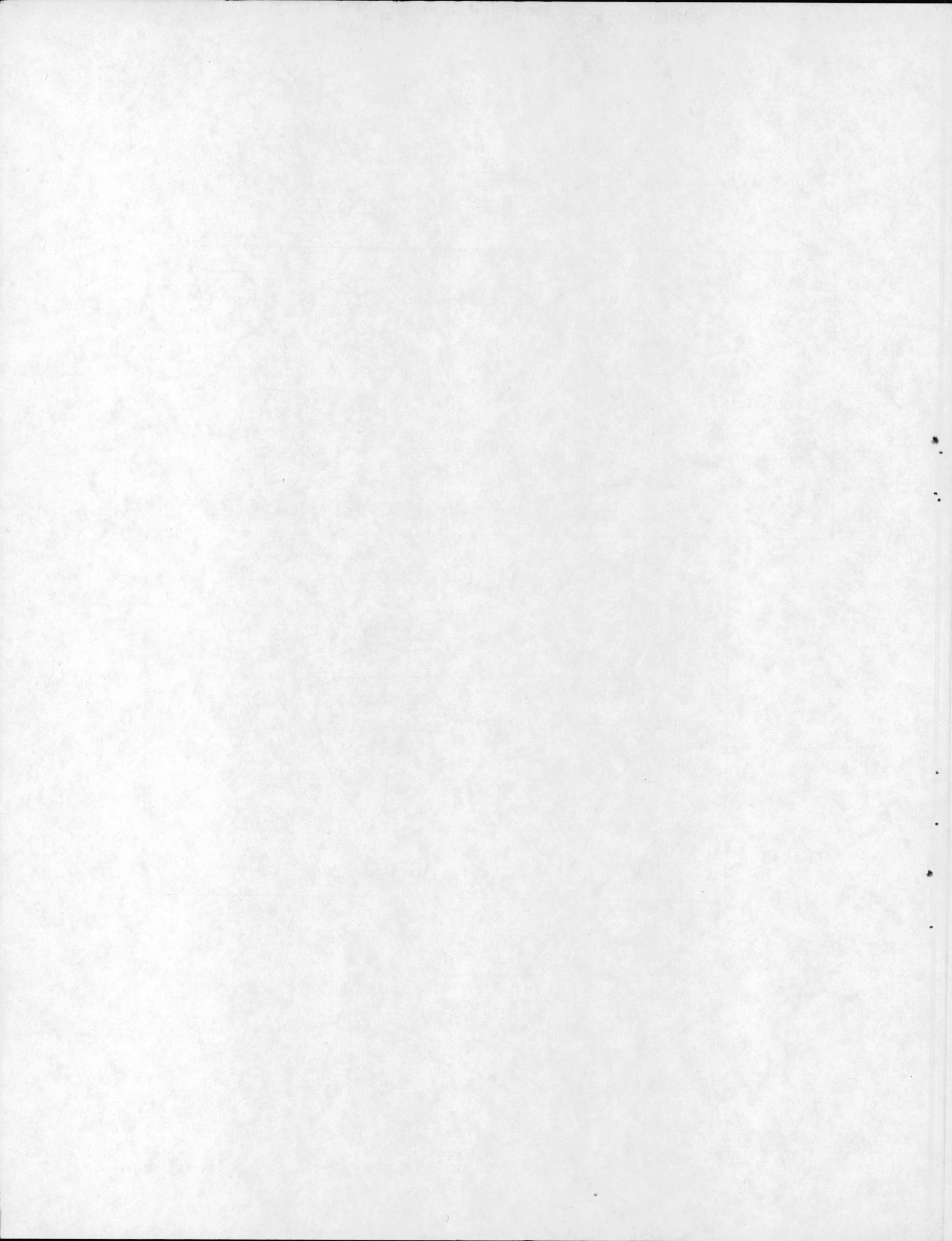
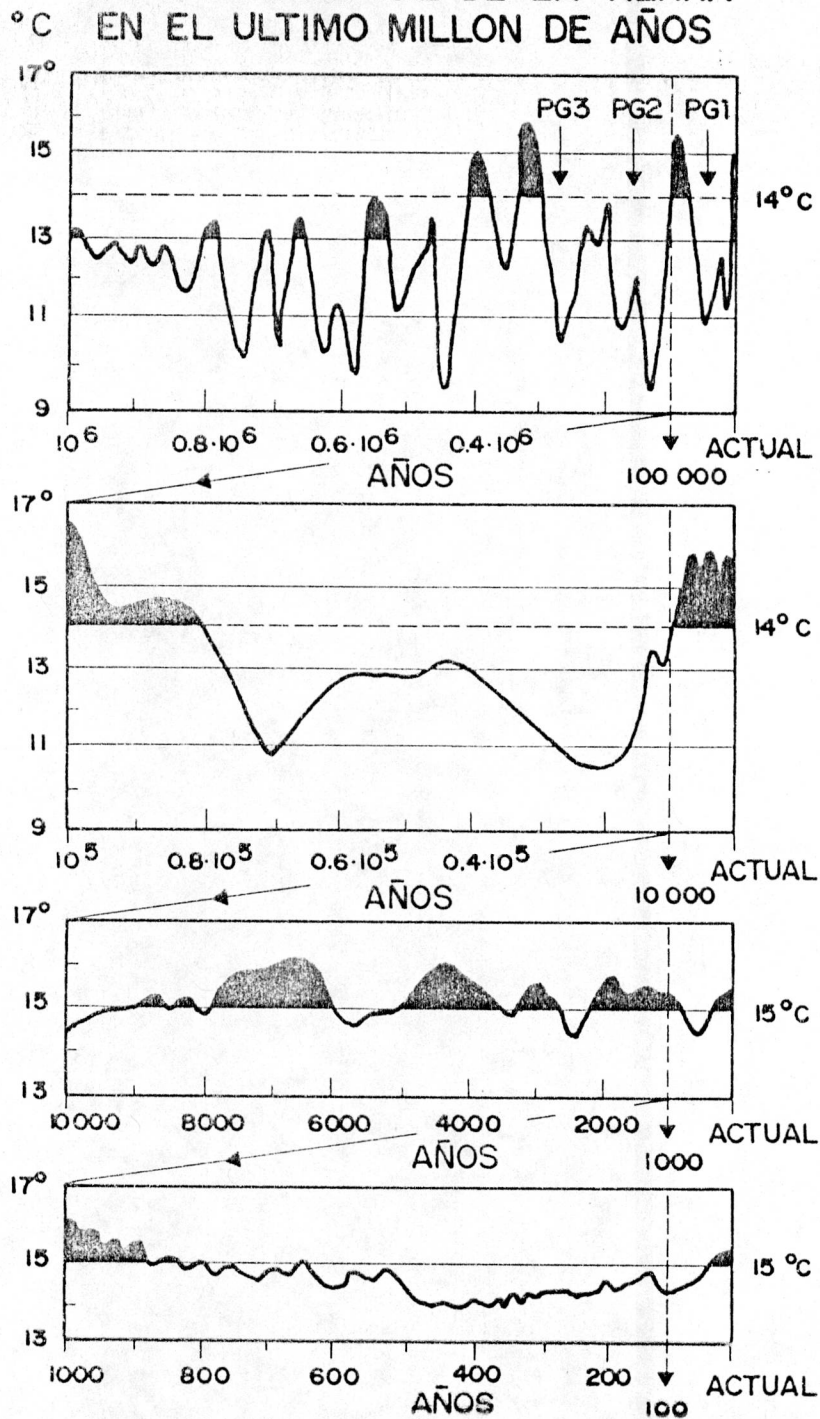
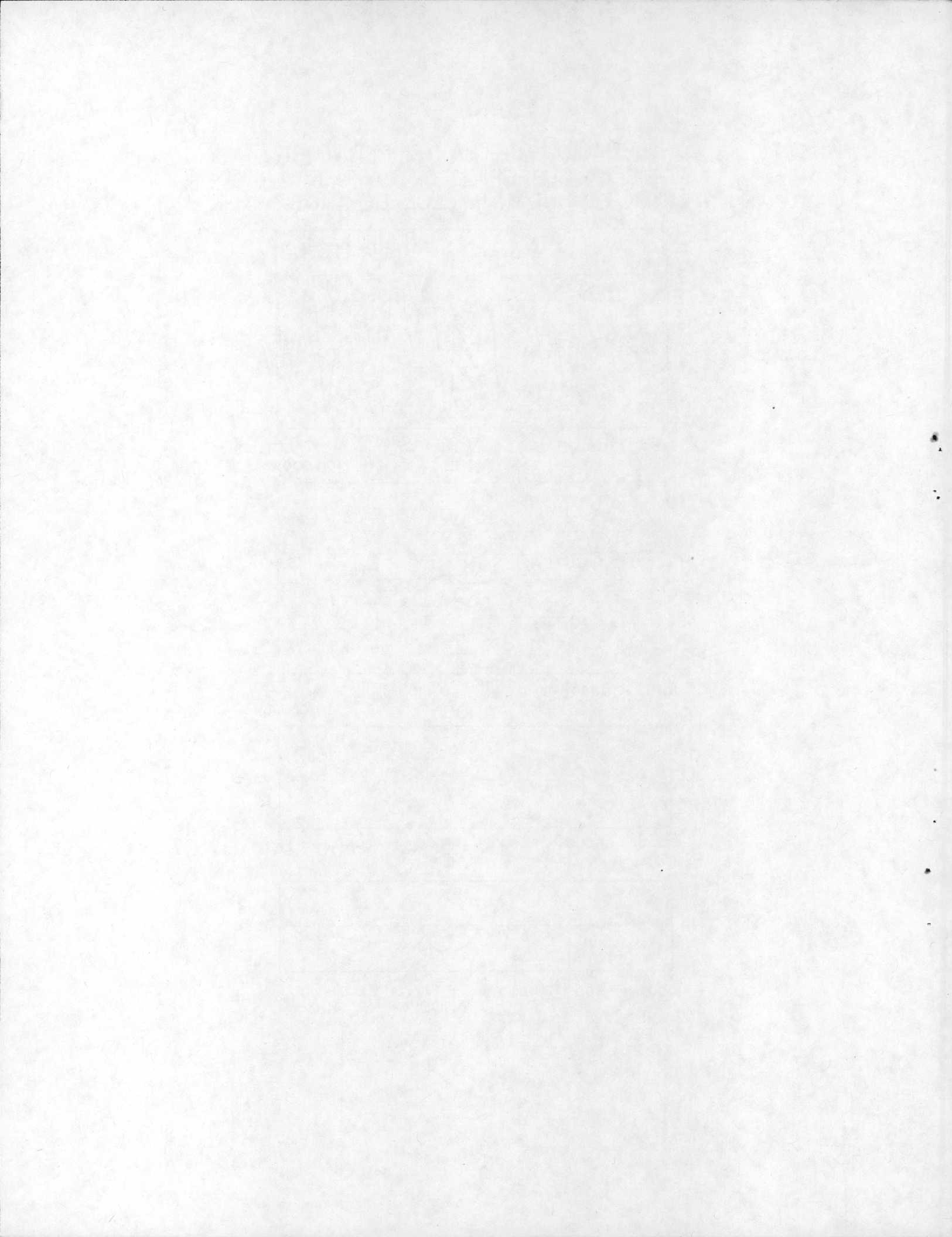


FIG. 3

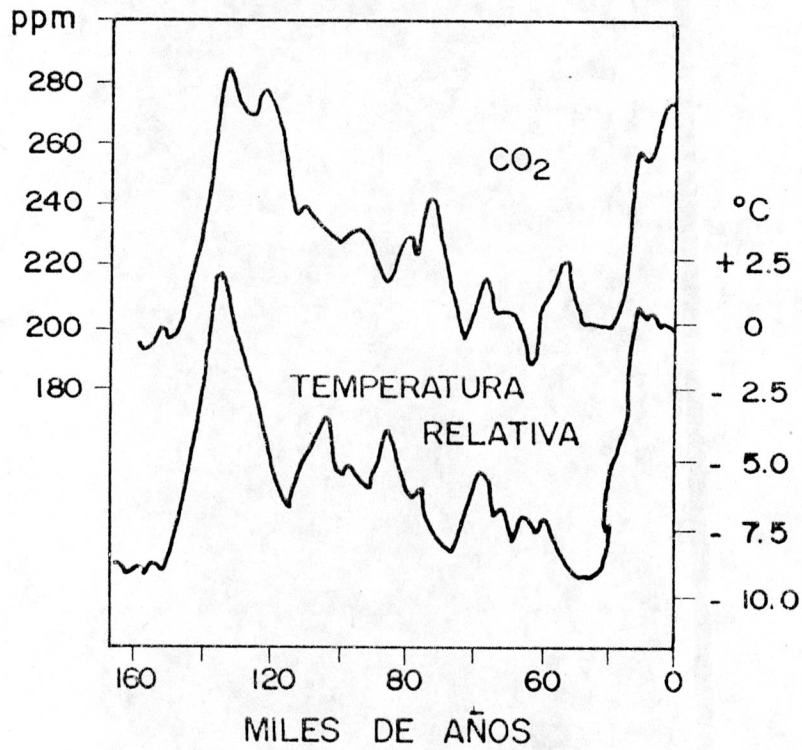
VARIACION DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA EN EL ULTIMO MILLON DE AÑOS





**FIG. 4**

VARIACION DE LA  
CONCENTRACION DEL CO<sub>2</sub>  
ESTACION VOSTOK, ANTARTICA



**FIG. 5**

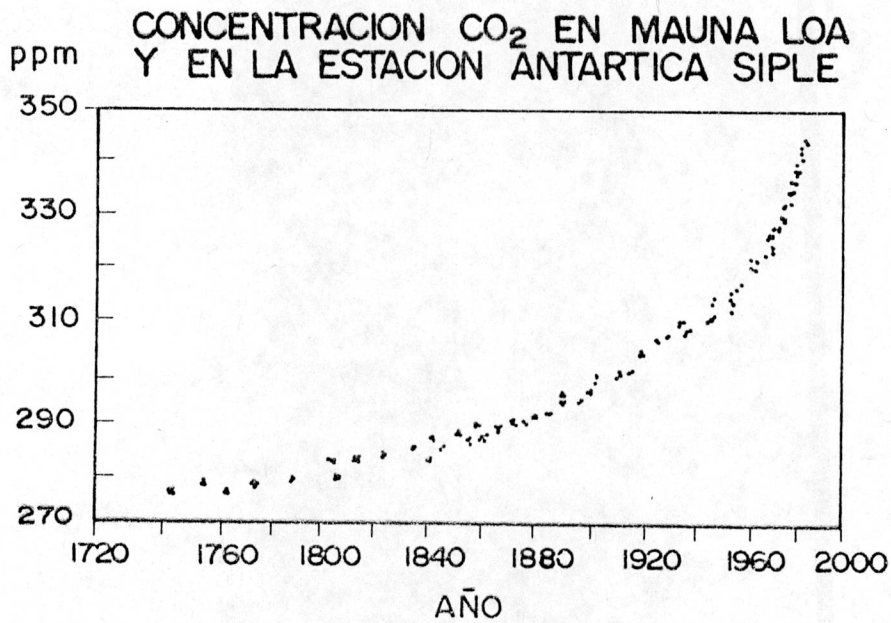
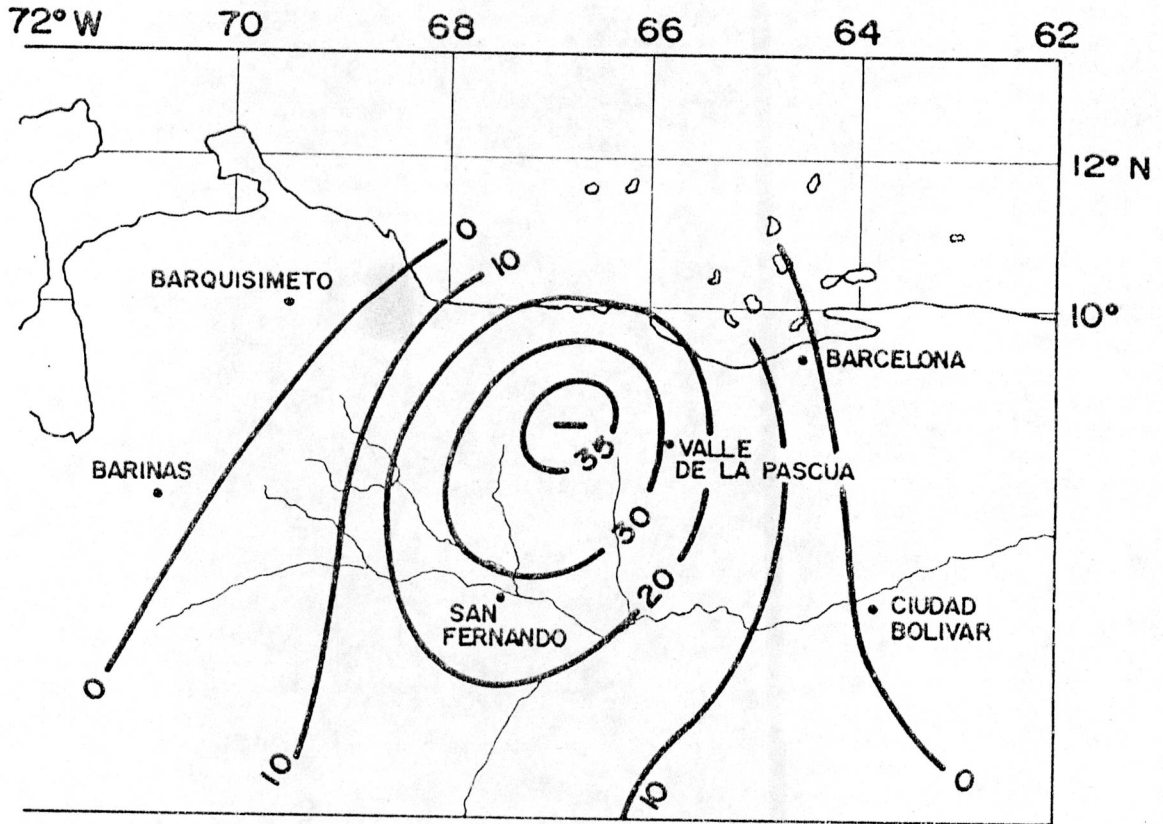




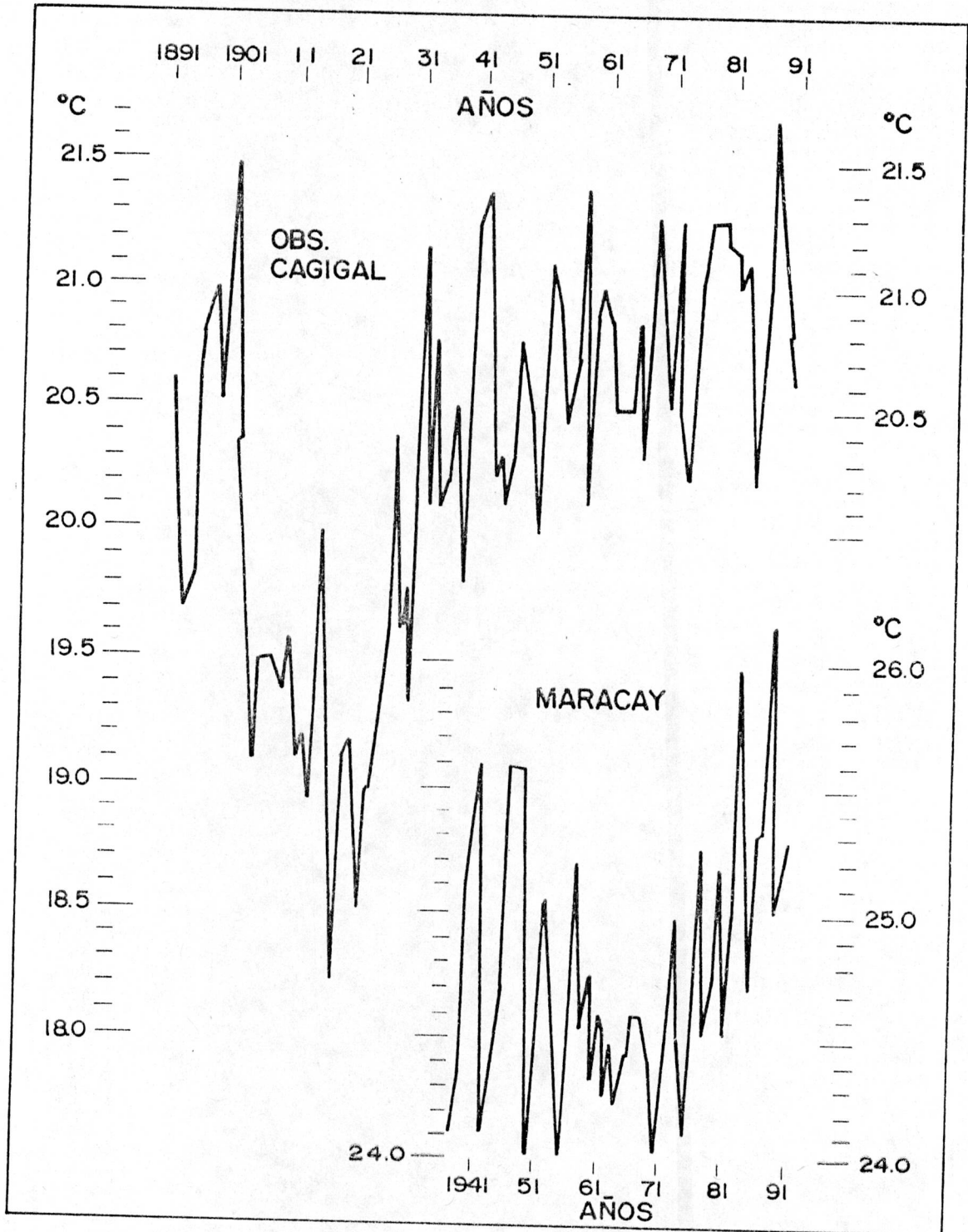
FIG. 6

LA SEQUIA DEL ESTADO GUARICO 1969/74  
DEFICIT DE PRECIPITACION EN %



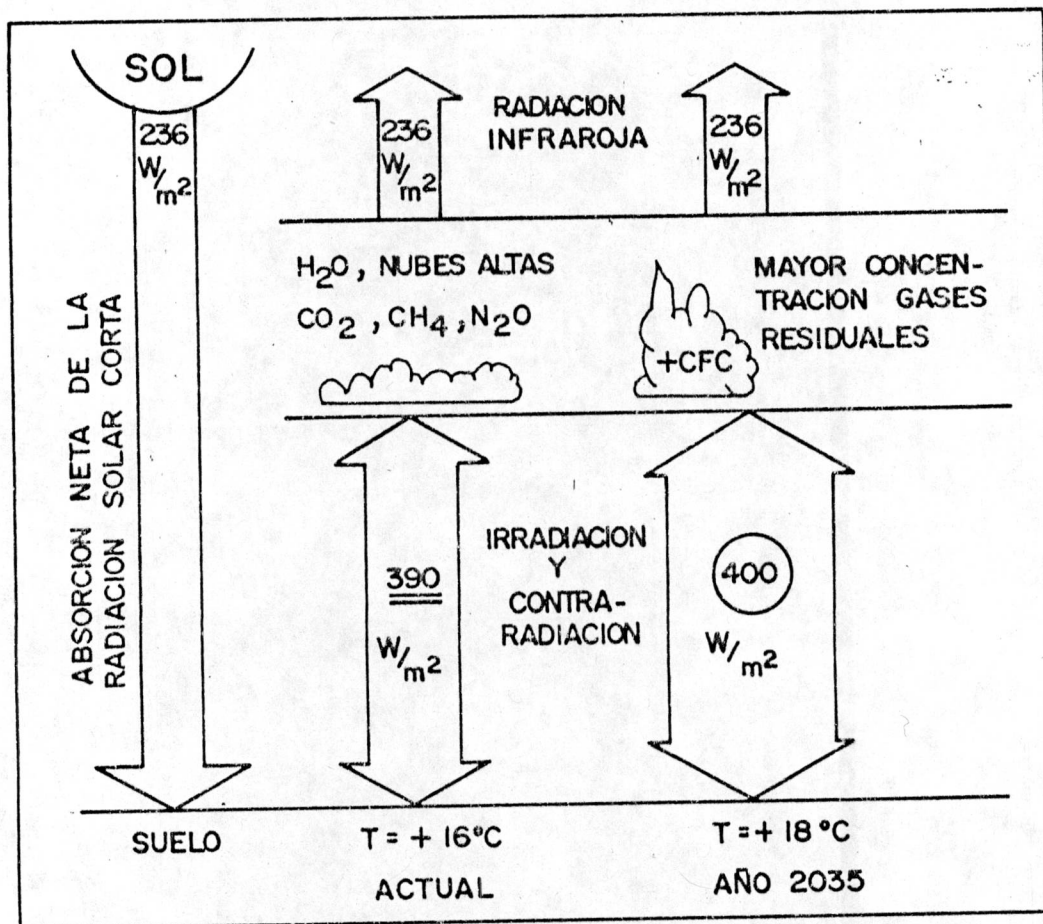


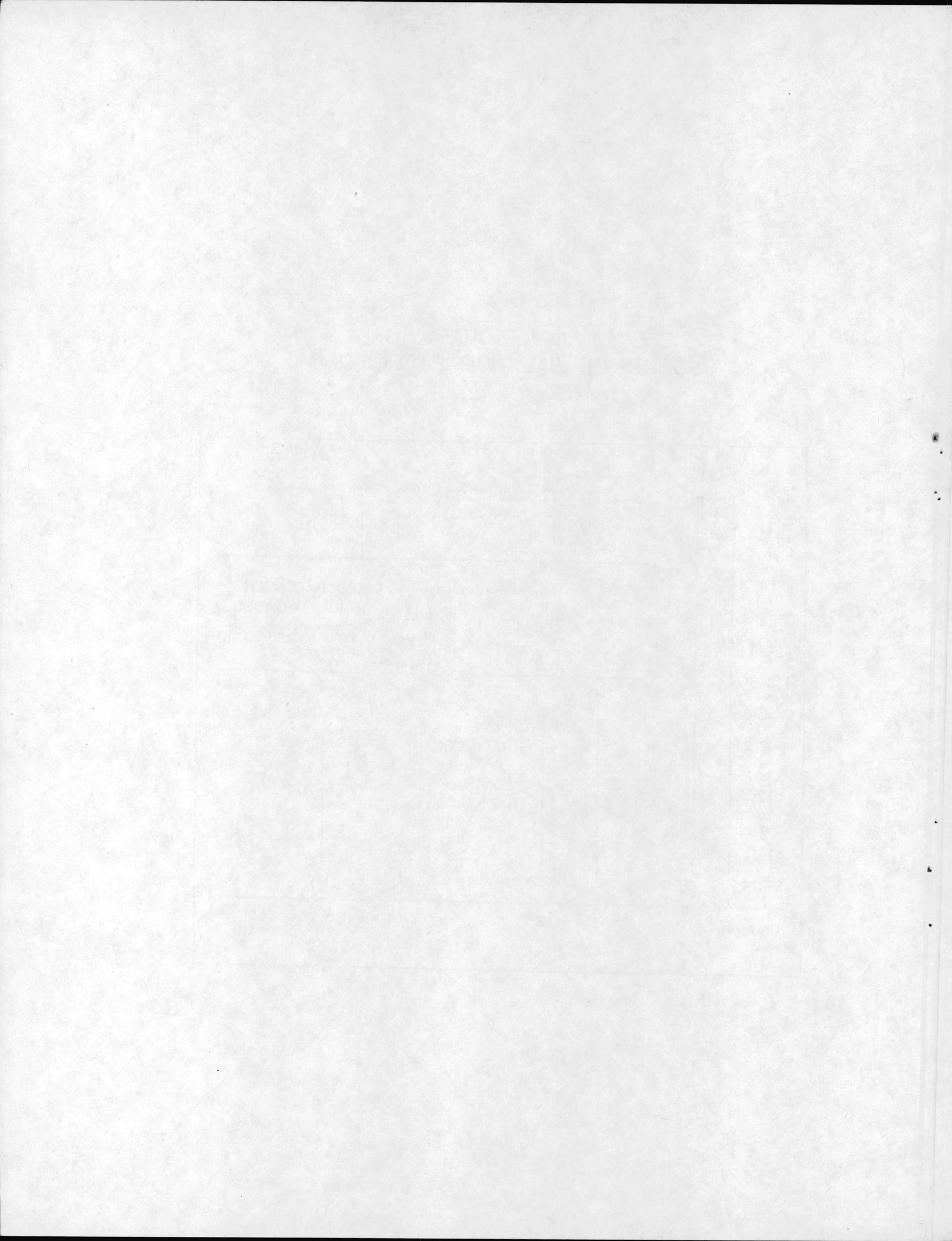
**FIG. 7**  
**VARIACION**  
**DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES 1891 / 1991**





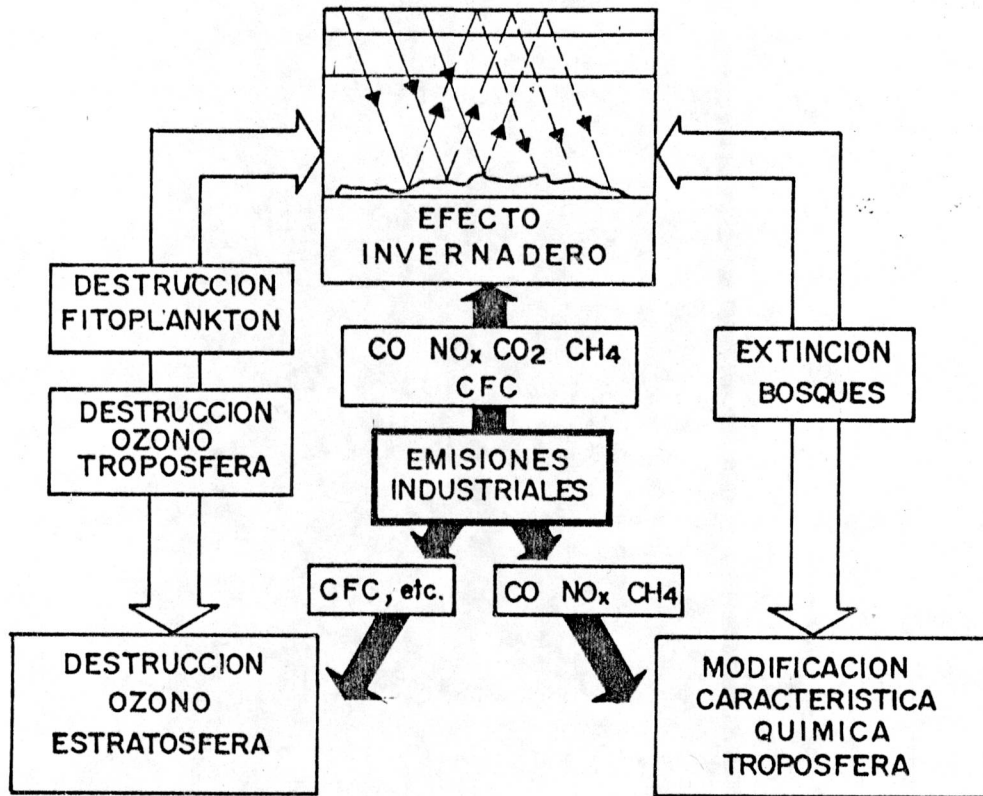
**FIG. 8**  
**EFFECTO INVERNADERO**  
**SOBRE EL BALANCE ENERGETICO**

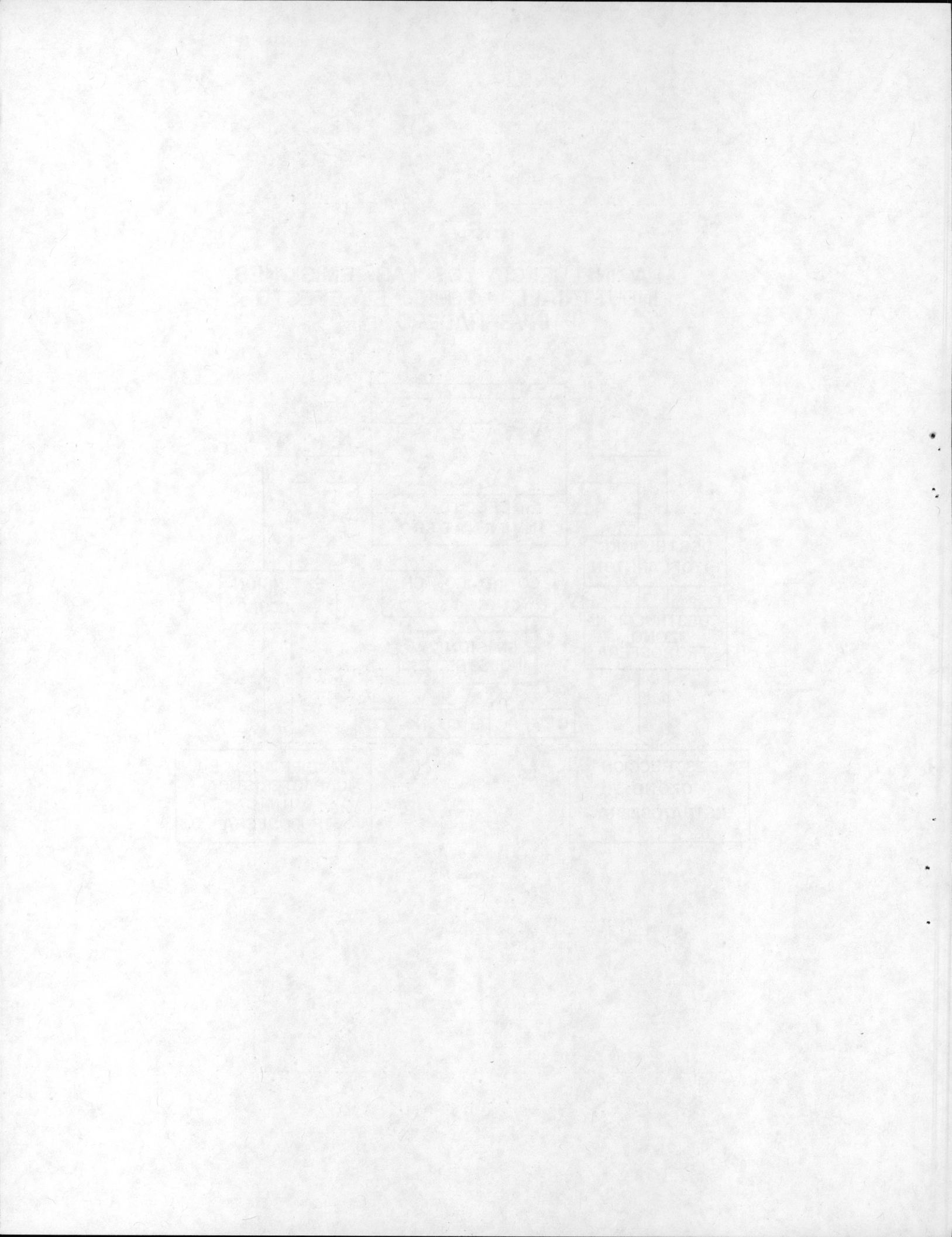




**FIG. 9**

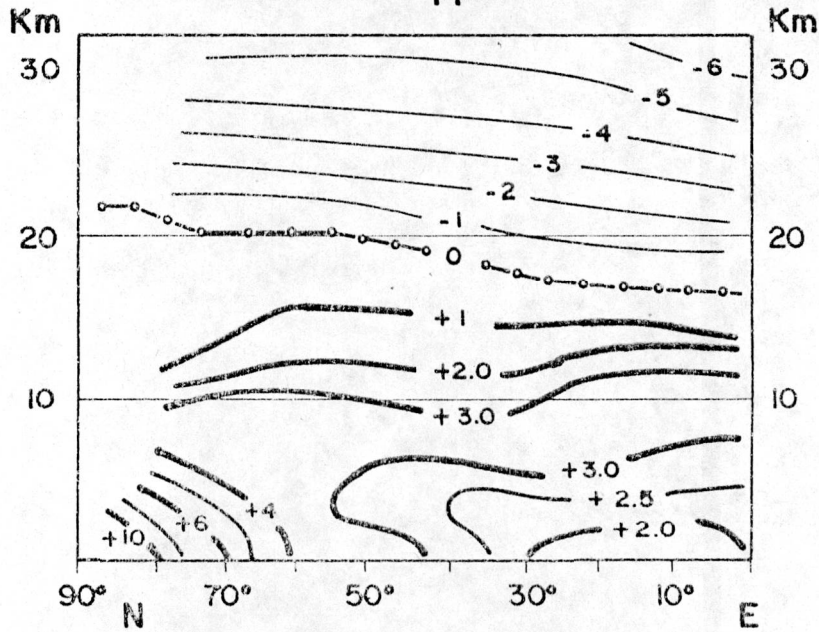
**LA INFLUENCIA DE LAS EMISIONES INDUSTRIALES SOBRE EL EFECTO INVERNADERO**





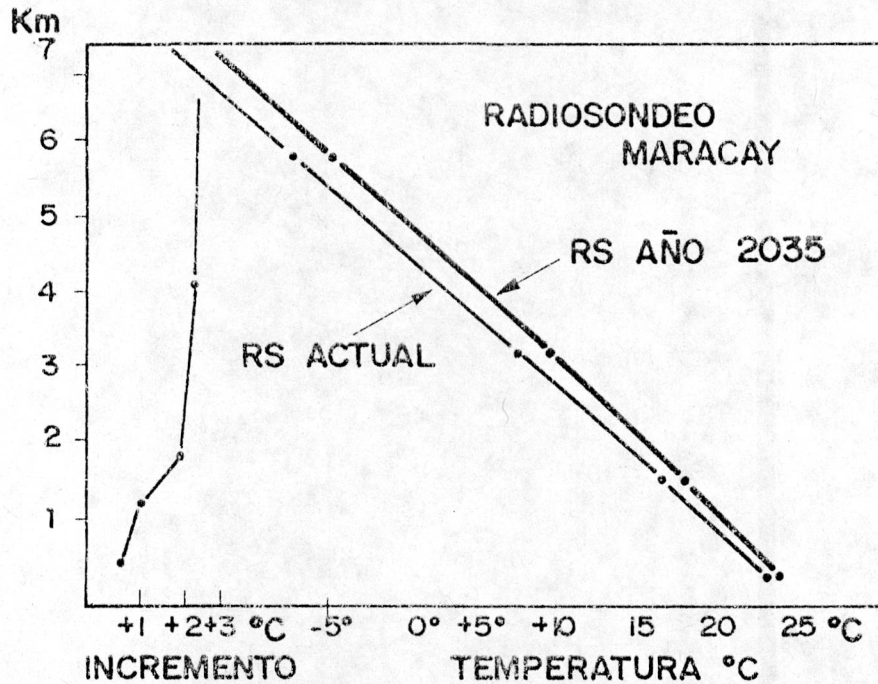
**FIG. 10**

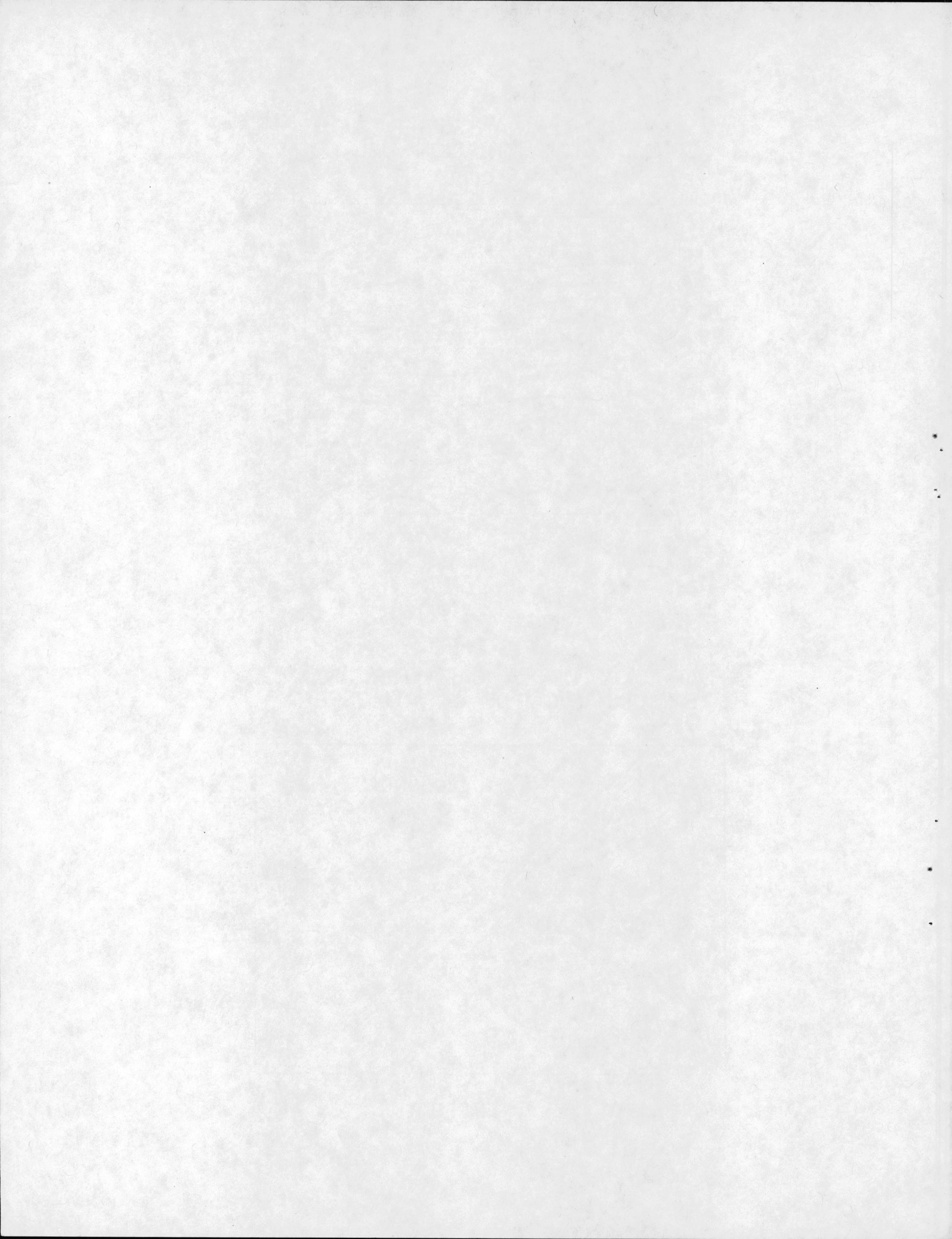
VARIACION DE LA TEMPERATURA  
CON LA CONCENTRACION DEL CO<sub>2</sub>  
A 600 ppm



**FIG. 11**

VARIACION DE LA CARACTERISTICA  
TERMODINAMICA DE LA ATMOSFERA

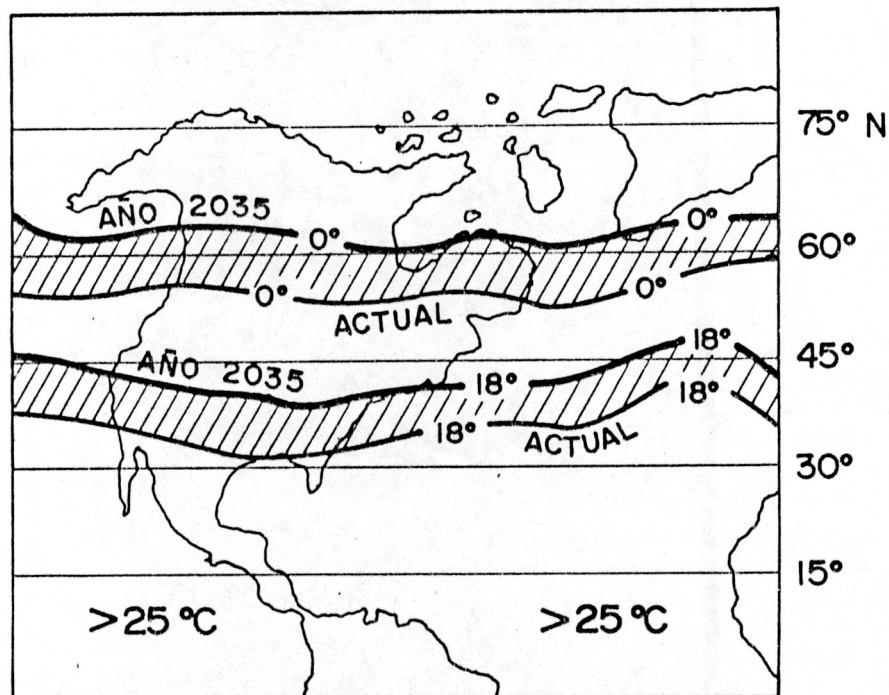




**FIG. 12**  
**CALENTAMIENTO ZONAL**  
**DEBIDO AL INCREMENTO DE LA**  
**TEMPERATURA HEMISFERICA EN 2.5°C**

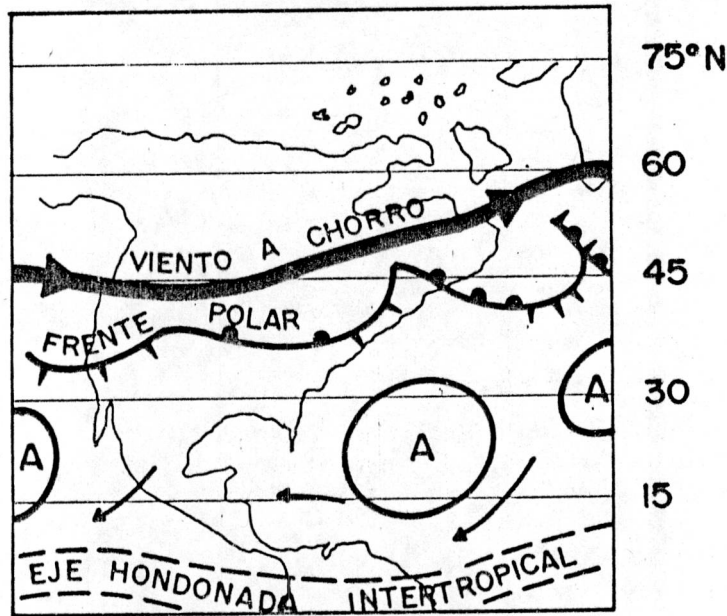
LATITUD	TEMP. MEDIA ACTUAL	INCREMENTO	TEMP. AÑO 2035
90° N	- 20°C	+ 4°C	- 16°C
80	- 18	+ 3	- 15
60	- 1	+ 2	+ 1
40	+ 13	+ 1	+ 14
20	+ 25	+ 0.5	+ 25.5
10	+ 26	+ 0.5	+ 26.5
0	+ 25	+ 0.5	+ 26.5

**FIG. 13**  
**DESPLAZAMIENTO DE LAS ISOTERMAS**  
**ANUALES DE 0° Y 18°C**

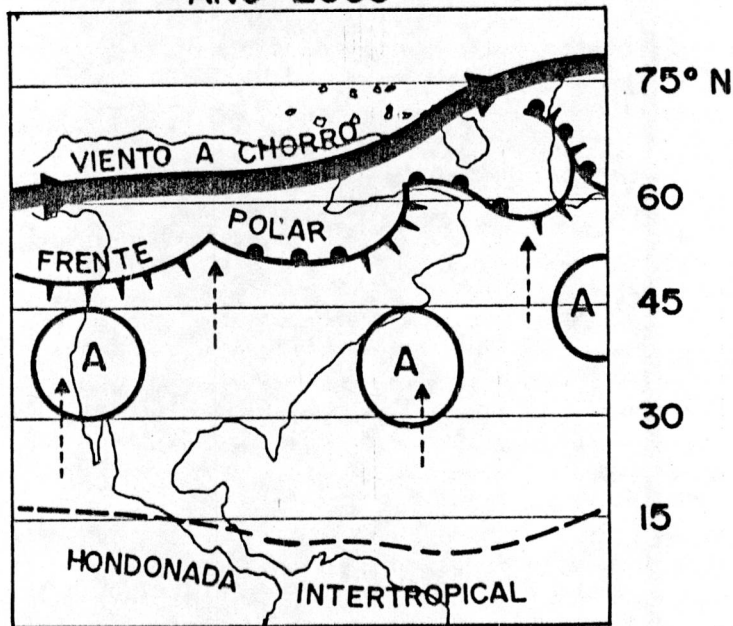




**FIG. 14**  
CIRCULACION SINOPTICO-CLIMATICO  
ACTUAL

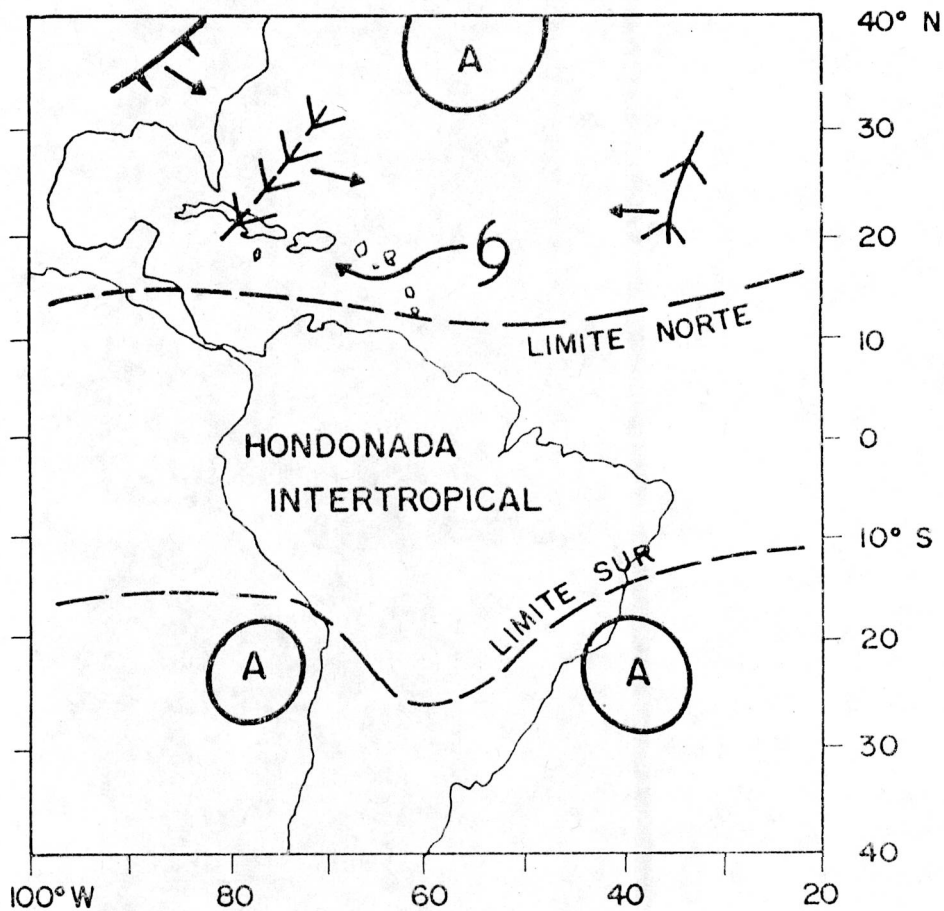


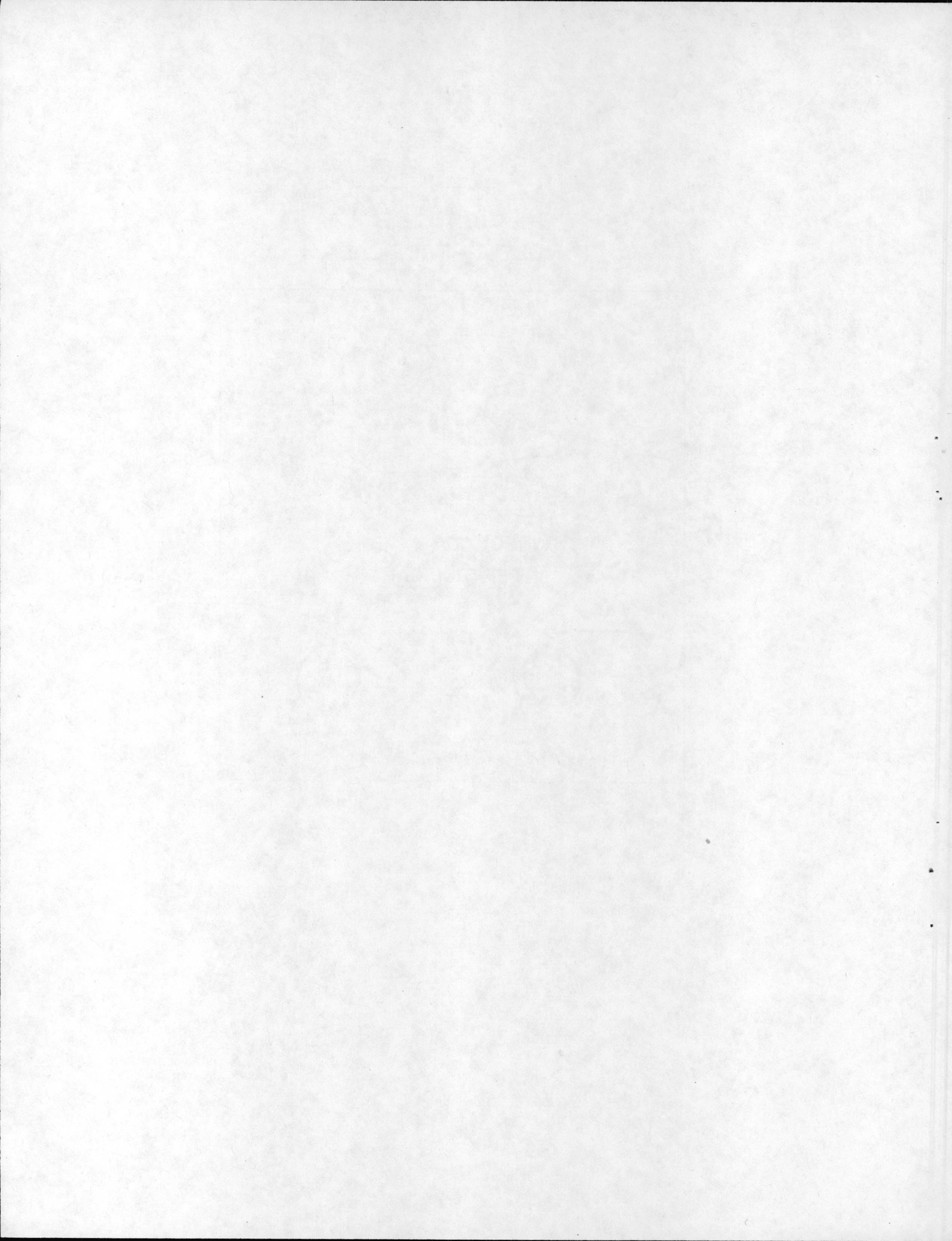
**FIG. 15**  
MODELO SINOPTICO-CLIMATICO  
AÑO 2035





**FIG. 16**  
**MODELO TROPICAL**





# CAMBIOS CLIMATICOS Y NIVEL DEL MAR UNA VISION GENERAL

**Mario Capaldo Mena**

Dirección de Hidrografía y Navegación de la Armada

Los cambios climáticos globales han despertado el interés de gobernantes, científicos y público en general como ningún otro problema ambiental lo había hecho con anterioridad. En la actualidad un número considerable de investigadores están dedicados a estudiar el problema. Sin embargo los resultados hasta ahora alcanzados indican diversas tendencias, por lo que se deberán realizar un número mayor de estudios que permitan aclarar sus causas y efectos.

Los océanos junto con la atmósfera son los reguladores del clima y cualquier cambio en sus características tendrá incidencia sobre el equilibrio ambiental. Específicamente, los cambios climáticos se han generado como consecuencia del aumento en la contaminación, lo que ha producido el llamado "Efecto Invernadero", siendo éste el causante de la expansión térmica de los océanos y el deshielo de glaciares, lo que ha resultado en un incremento del nivel del mar. Estas causas podrían elevar el nivel del mar entre 50 y 200 centímetros para el año 2100.

Los efectos físicos que se generarán como consecuencia del incremento en el nivel del mar se pueden resumir en 1) Inundaciones de zonas húmedas (wetland). 2) Inundaciones de tierras bajas. 3) Erosión. 4) Aumento de marejadas y mares de fondo. 5) Aumento de salinidad en estuarios y acuíferos. 6) Perturbación de actividades humanas.

En Venezuela la preocupación por el incremento del nivel del mar y sus posibles efectos, han sido considerados por los científicos en su real dimensión, sin alarmismos y con seriedad, en consecuencia se ha organizado un Grupo Interinstitucional de Cambios Climáticos que organiza las actividades sobre la materia a nivel nacional. Paralelamente se adelantan estudios sobre la variación del nivel del mar, los cuales han arrojado como resultado preliminar un incremento en la región Centro-Occidental, mientras que en el Oriente se registra una disminución. (Posiblemente por efectos tectónicos).

En cuanto a las opciones de respuesta al problema, básicamente existen cinco (05); las tres primeras a largo plazo y las dos restantes a mediano y corto plazo. Estas son: 1) Control de los gases invernadero. 2) Educación Ambiental. 3) Retiro gradual de zonas costeras en peligro. 4) Soluciones Ingenieriles y 5) Ninguna Acción.

## I. INTRODUCCION

Por todos es conocido que el ambiente ha sido afectado por la acción del hombre al tratar de alcanzar el tan ansiado desarrollo económico. Como consecuencia de estas actividades, la contaminación ambiental se ha incrementado al punto de preocupar a toda la comunidad mundial, incluyendo Gobernantes, Empresarios y Científicos, siendo éstos últimos los que han adelantado los estudios necesarios para determinar el grado de perturbación del ambiente. Después de una serie de investigaciones han detectado un conjunto de variaciones que en la actualidad se conocen como CAMBIOS CLIMATICOS (figura 1).

Entre las consecuencias previstas se mencionan alteraciones en los patrones de lluvia y viento que ocasionarían inundaciones y sequías en sitios donde comúnmente no ocurrían un efecto que a llamado especial atención es el incremento del nivel del mar y es precisamente sobre ste que versará esta charla.

## II. CAUSAS DEL INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR

### II. 1 TENDENCIAS EN EL PASADO

El nivel del mar a escala global depende principalmente de (1) la forma y tamaño de los océanos, (2) la cantidad de agua en los océanos y (3) la densidad promedio del agua de mar. Los factores 2 y 3 son influenciados por el clima mientras que el primero lo es por subsidencia y emergencia debido a factores naturales como ajustes isostáticos y tectónicos de la superficie terrestre y a actividades humanas como extracción de petróleo y agua.

De acuerdo al análisis de fósiles efectuados por HAYS y PITMAN (1973), cambios en el sistema montañoso submarino ocurridos en los últimos 100 millones de años han ocasionado que el nivel del mar haya aumentado y disminuido más de 300 metros. Esto representa un cambio de menos de un milímetro por siglo.

El impacto del clima en el nivel del mar ha sido más significativo si se toman en cuenta períodos más cortos del tiempo. Por ejemplo geólogos reconocen que durante la época de hielo, la glaciación de partes del hemisferio norte restó suficiente agua a los océanos, ubicando el nivel del mar 100 metros por debajo del nivel actual. Más recientemente los registros de mareógrafos han medido cambios en el nivel relativo del mar y estudios combinados calculan que el nivel se ha incrementado en 1,0 a 2,5 mm por año durante el siglo pasado.

Como se observa existe un cierto consenso en cuanto a que el nivel del mar ha variado en épocas pasadas como parte de un proceso natural de ajuste.

## II. 2 EFECTO INVERNADERO

La temperatura ambiente y el nivel del mar han sido más o menos estables en épocas recientes. Sin embargo en el futuro esto puede ser diferente ya que las concentraciones de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) Metano (CH<sub>4</sub>) Clorofluorocarbonos (CFC), Vapor de Agua y otros gases (figura 2), relacionados con las actividades humanas han aumentado, lo cual ha tenido como resultado un calentamiento de la tierra sin precedentes en los últimos dos millones de años, teniendo como una de sus consecuencias la aceleración en el incremento del nivel del mar.

La temperatura terrestre está principalmente determinada por: 1) La cantidad de luz solar que recibe, 2) La cantidad de luz solar que refleja y 3) La cantidad que es retenida por la atmósfera. Cuando la energía solar llega a la tierra, ésta se calienta e irradia calor en forma de radiación infrarroja, sin embargo vapor de agua, dióxido de carbono y otros gases, que se encuentran en la atmósfera en forma natural, absorben parte de la energía, no permitiendo que ésta escape al espacio, (figura 3). Estos gases a concentraciones naturales son los que han mantenido una temperatura confortable y sin ellos la tierra sería 33°C más fría.

Desde la Revolución Industrial, la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la elaboración de cemento han incrementado la concentración de CO<sub>2</sub> en un 20% y se espera que para el año 2050 ésta aumentará en un 50%. Sin embargo se espera que esto no ocurra ya que en 1987, las naciones industrializadas firmaron un convenio para reducir la emisión de gases invernadero en un 50%.

## II. 3 EXPANSION TERMICA

El término "Expansión térmica", se refiere al cambio en el volumen de los océanos a consecuencia de una disminución en la densidad, producto del incremento en la temperatura del mar. Por tanto a medida que el océano se calienta su densidad disminuye, aumenta su volumen y se incrementa el nivel del mar (figura 4).

Utilizando un modelo de los océanos desarrollado por Lacis y sus colaboradores en 1981, se estimó que un incremento en la temperatura de 1 a 2.6°C puede resultar en una expansión térmica que incremente el nivel del mar entre 12 y 26 cm para el año 2050, mientras que si la temperatura aumenta de 2.3 a 7.0 °C, el nivel del mar se elevaría de 28 a 83 cm para el 2100.

## II. 4 DESHIELO

De acuerdo a las observaciones, la mayoría de los glaciares se han estado empequeñeciendo en los últimos 100 años, sin embargo los datos son recientes por lo que el análisis para incluir épocas pasadas se hace difícil. Por ejemplo en 1984 Meir extrapoló las mediciones hechas en algunos glaciares y estimó que en el período 1885-1979 la contribución de los glaciares al incremento del nivel del mar fue de 0.46 +/- 0.26 mm/año. Por otra parte calculó que un incremento en la temperatura ambiente de 0.5 °C ocasiona un alza en el nivel del mar, por deshielo de glaciares, de 28 mm y concluye que un aumento de 1.5 a 2.5°C resultará en el alza del nivel del mar de entre 10 y 30 cm para el próximo siglo.

Otro factor que se debe tomar en cuenta es la capa de hielo de Groenlandia. Los primeros estimados indican que la contribución de esta isla al incremento del nivel del mar será de 12 cm para el año 2080, (Revelle, 1983). Finalmente, se ha considerado el impacto de la Antártida en el nivel del mar, sin embargo éste es el factor menos conocido. En 1985 Musynski calculó que en lugar de contribuir al incremento del nivel del mar, el aumento de

temperatura favorecería una mayor retención de agua en la antártida y por consiguiente el nivel del mar disminuiría a razón de 0.38 mm/año. (figura 5).

## II.5 PROBLEMAS DE MANEJO COSTERO

Los problemas de manejo costero que influyen en el nivel del mar se pueden resumir en (figura 6).

- Presiones humanas para la urbanización de zonas costeras.
- Explotación de recursos naturales que frecuentemente ocasionan subsidencia.
- Construcciones en los cursos de agua, tales como represas diques, etc.

En el siguiente esquema se representan los principales factores que afectan las zonas costeras:

## II.6 TENDENCIAS FUTURAS

Utilizando como base los estimados de las concentraciones de gases invernaderos, los cambios climáticos como respuesta a estas concentraciones, la capacidad de los océanos de absorber calor y el comportamiento de los glaciares, se ha realizado un estimado del comportamiento del nivel del mar teniendo como horizonte el año 2100. Hoffman en 1983 calculó que el incremento en el nivel del mar sería entre 56 y 345 cm como máximo, pero que muy probablemente el aumento se situaría entre 144 y 217 cm. Meir en 1985 estimó un incremento de entre 20 y 160 cm. Por otra parte la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1986 expresó que el aumento del nivel del mar estaría entre 10 y 155 cm. Esto se observa en la figura 7.

Ahora bien el panel intergubernamental de cambios climáticos maneja cuatro escenarios para predecir el incremento del nivel del mar. El primero, "Business As-usual" no contempla ningún tipo de control sobre los gases invernaderos mientras que el escenario B,C y D introduce un control en las emisiones a fin de frenar el aumento de la temperatura global a 0.2°C por década (B), sobre 01°C (C) y por debajo 0.1°C por década (D). En la figura 8 se observa como el incremento del nivel del mar disminuye de acuerdo al escenario que se considere.

## III. EFECTOS FISICOS DEL INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR

La mayoría de las naciones tienen suficientes tierras altas como para permitir una adaptación gradual al incremento del nivel del mar, sin embargo esto conllevaría inversiones sustanciosas en infraestructura y la pérdida de ecosistemas importantes. Se calcula que entre un 50 y 80% de las costas bajas "WETLAND", se perderían incluyendo los Deltas. Por si esto fue poco, este incremento podría afectar a naciones enteras, tal es el caso de las Islas Maldivias y otras Islas Coralinas.

Entre los efectos físicos más importantes se pueden mencionar:

- Inundación de tierras húmedas y tierras bajas,
- Erosión
- Marejadas (Flood)
- Aumento de salinidad en estuarios y acuíferos
- Alteraciones en las mareas
- Cambios en los patrones sedimentarios
- Aumento en la altura de las olas
- Disminución de la cantidad de luz que llega al fondo
- Impacto sobre las actividades humanas

### III.1 INUNDACIONES

Este es el impacto más obvio de un incremento en el nivel del mar y en este caso se refiere a la conversión de "Tierra Seca" en "Tierra Húmeda" y de "Tierra Húmeda" en mar abierto. El balance natural ha permitido que a medida que aumenta el nivel del mar, las zonas costeras se ajusten; por ejemplo la vegetación se ha adaptado a

nuevas áreas costeras, retrocediendo con el tiempo, a medida que sus zonas de crecimiento se han inundado. Si este proceso continúa tal y como ha ocurrido en el pasado, estas zonas podrán mantener el equilibrio con el mar y los procesos de sedimentación, migración y crecimiento de Deltas continuarán; si por el contrario ocurre un aceleramiento en el incremento del nivel del mar, se presume que zonas costeras serán inundadas. Se estima que un aumento de 1 metro en el nivel del mar inundaría 17% de Bagladesh y un incremento de 2 metros inundaría las islas Maldivias totalmente. Cabe destacar que muy frecuentemente las concentraciones de poblaciones son mayores en zonas bajas, especialmente a lo largo de la costa y se verán afectadas por este impacto de forma directa.

### III. 2 EROSION

Cuando se habla de pérdida de zonas costeras como consecuencia de un incremento de un (01) metro en el nivel del mar, no se toma en cuenta que el proceso de erosión incrementaría esta pérdida. Bruun (1962) demostró que ha medida que aumenta el nivel del mar, las zonas altas de las playas son erosionadas y este material se deposita en la playa. El mismo autor estima que en playas arenosas la erosión puede causar pérdida de una franja de entre 50 y 200 metros de ancho por cada metro de alza vertical del nivel del mar, (figura 9).

En islas de barrera, la erosión ocasionada por las olas puede transportar arena hacia la costa y hacia el mar abierto. Leatherman (1979) sugirió que este tipo de islas generalmente sería erosionada por su lado oceánico hasta que su ancho llegue a 100 ó 200 metros para luego ser arrojada en forma ocasional por las olas en un proceso conocido como "Overwash", (figura 10).

Las tierras húmedas (Wetlands) y otras zonas pantanosas que se encuentren a lo largo de la costa serán aún más vulnerables a la erosión esto debido a que los sedimentos son más finos y serán transportados fuera del sistema.

### III. 3 FLOODING

El aumento del nivel del mar puede aumentar el riesgo de "Flooding" en cuatro formas:

- Existirá una mayor base sobre la cual se pueden generar mares de fondo.
- Las playas y dunas que protegen muchas áreas del ataque directo de olas, podrán ser erosionadas haciéndolas más vulnerables.
- La pérdida de zonas húmedas donde se desarrollan los manglares incrementará el riesgo de "Flooding".
- El incremento del nivel del mar también aumentará las tormentas por lluvias e inundaciones ocasionadas por ríos como resultado de la disminución del drenaje. La primera forma es particularmente importante en áreas donde huracanes son frecuentes como el Caribe.

Actualmente se están comenzando a sentir estos afectos, por ejemplo en 1971 un mar de fondo o marejada generado por un tifón ocasionó la muerte a treinta mil personas.

### III. 4 SALINIZACION

El aumento del nivel del mar permitirá el avance de agua salada en Estuarios y acuíferos. En los primeros el flujo gradual de agua dulce hacia el océano es el único factor que previene que el estuario tenga la misma salinidad que el océano. La salinidad reinante es el resultado del balance entre agua dulce y los procesos que llevan agua salada a los estuarios. Un incremento en el nivel del mar, aumentaría la salinidad debido a que el incremento de la sección transversal disminuiría la velocidad promedio a la que fluye agua dulce hacia la bahía. En la figura 11 se observa como el agua salina, más densa, ocupa una sección mayor.

Por otra parte un incremento en el nivel del mar, ocasionaría un aumento en la salinidad de los acuíferos. Por dos razones básicas, primero agua es bombeada de zonas que se encuentran por debajo del nivel del mar, segundo los acuíferos utilizados para consumo humano, generalmente están "flotando" sobre un colchón de agua salada y a medida que suba el nivel del mar, los acuíferos también subirán. Esto ocasionaría que muchos pozos queden inservibles, tal y como lo muestra la figura 12.

### III. 5 IMPACTOS SOBRE ACTIVIDADES HUMANAS

El impacto del incremento del nivel del mar no puede ser totalmente entendido sin que se discuta algo sobre las actividades humanas que se desarrollan en zonas costeras. Una de estas es el turismo.

Por ejemplo en Australia, Brasil, USA y Venezuela uno de los impactos más importantes del incremento del nivel del mar será el deterioro de playas recreacionales; particularmente en los Estados Unidos un pequeño aumento del nivel del mar erosionaría un alto% de las playas y los hoteles serían inundados. Otras actividades que podrán ser afectadas son la agricultura, ganadería, industria, y en general cualquier acción que el hombre desarrollen la costa.

## VI EL CASO VENEZUELA

### VI. 1 INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR

En Venezuela existen diversos tipos de ambientes costeros a lo largo de los 4.000 kms de costa. Por ejemplo, se encuentran playas arenosas, deltas, lagunas costeras, islas de barrera, estuarios, bahía y acantilados, que podrían ser afectadas por los cambios en el nivel del mar.

Los patrones de variación del nivel del mar, determinados utilizando los mareógrafos de red nacional, se muestran en la figura 13. Por ejemplo en Carúpano y Puerto Hierro se observa una disminución aparente del nivel del mar, señal que muy probablemente tiene su causa en el tectonismo regional. Por otra parte en la costa central se refleja la señal global de aumento en el nivel del mar, mientras que en la zona de Maracaibo se detecta una señal de aumento exagerado, probablemente motivada por la subsidencia producto de actividades antropogénicas como lo son la extracción de petróleo y agua.

### IV. 2 POSIBLES CONSECUENCIAS

El efecto negativo más obvio es la pérdida de zonas costeras y tierras bajas como consecuencia de inundaciones. Entre las áreas venezolanas que son particularmente vulnerables a inundaciones, erosión y salinidad, se encuentra la porción externa del Delta del Orinoco, la zona este de la Península de Paría, el Delta del Río Unare y las lagunas de Unare-Píritu, la Península de Paraguaná, Tucacas, Mochima y Margarita (figura 13).

Por otra parte, los cambios en la estructura de la termoclina de las aguas costeras podrían desplazar zonas de pesca con el consecuente impacto sobre ésta actividad. Otro de los posible efectos es el incremento de los huracanes como consecuencia del aumento de la temperatura superficial del agua. Se estima que un alza de 1.5°C causará un aumento en la velocidad máxima del viento de los huracanes por el orden de un 8%

### IV. 3 QUE SE ESTA HACIENDO

En Venezuela la preocupación por este problema y sus posibles efectos ha sido tomada por los científicos en su real dimensión, sin alarmismos y con seriedad, organizando un grupo Interinstitucional de Cambios Climáticos para llevar adelante las diferentes actividades nacionales e internacionales que sean requeridas para aumentar el conocimiento científico sobre los cambios climáticos. Los objetivos específicos de este comité son:

- Coordinar las actividades nacionales relativas a la investigación y monitoreo de las condiciones meteorológicas y oceanográficas.
- Expandir la red Mareográfica Nacional.
- Coordinar las Políticas Nacionales al respecto.
- Establecer planes educativos para aumentar el conocimiento del problema
- Motivar la investigación sobre fuentes energéticas no convencionales.
- Organizar la contribución de Venezuela en programas internacionales como "WORLD OCEAN CIRCULATION EXPERIMENT" (WOCE) y "TROPICAL OCEAN GLOBAL ATMOSPHERS" (TOGA).

En cuanto a los estudios propiamente dichos se pueden mencionar los que adelanta el Servicio de Geografía y Cartografía Nacional del M.A.R.N.R. y el Instituto Oceanográfico de la Universidad de Oriente referentes al incremento del nivel del mar y el que está realizando la Dirección de Hidrografía y navegación de la Armada sobre la variación de la temperatura ambiente utilizando como base los datos provenientes de estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo de la costa venezolana. (figura 14).

## V. OPCIONES DE RESPUESTA

Existen cuatro opciones fundamentales como respuesta al incremento del nivel del mar, estas son:

- Soluciones Ingenieriles.
- Retiro gradual de poblaciones costeras en peligro.
- Control en la generación de gases invernadero.
- No hacer nada.

Entre las soluciones ingenieriles para represar o retener al mar en su avance se pueden mencionar diques, paredes y rellenos, tal como se observa en las figuras 16 y 17.

ASPECTOS GENERALES DE LA SEQUIA EN VENEZUELA

Prof. Jesús Sánchez Carrillo  
Dpto. de Ing. Hidrometeorológica  
Facultad de Ingeniería - U.C.V.

INTRODUCCION.

Las Naciones Unidas establecieron a partir del 1º de enero de 1990 el "Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales". Se ha comprobado, según la O.M.M. que el 70% de los fenómenos que causan los desastres naturales son de origen meteorológico o hidrológico. Por ello, es oportuno que dediquemos esfuerzos al estudio de uno de los problemas que alcanza dimensiones nacionales e internacionales.

La circunstancia de encontrarse nuestro país dentro de la zona intertropical significa que estamos en la faja que recibe la mayor precipitación anual del globo terrestre. Sin embargo, el régimen de lluvias tiene variaciones notables de un mes a otro y en los diferentes años. Las sequías se pueden presentar en cualquier lugar y en cualquier época del año.

En el presente estudio tratamos de señalar algunos conceptos fundamentales relacionados con las definiciones, causas, detección y manejo de las sequías que se presentan en Venezuela. La Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología tiene particular interés en promover estudios sobre esta adversidad climática que afecta con frecuencia numerosas regiones del territorio nacional.

DEFINICIONES.

No existe una definición que sea universal para la sequía. Puede decirse, en términos generales, que la sequía es una deficiencia en la precipitación.

Podríamos señalar que la sequía es probablemente el desastre natural más severo que se presenta sobre nuestro planeta. Entre los desastres naturales más conocidos se encuentran:

- a) Las inundaciones. Son de corta duración y afectan extensiones limitadas de superficie.
- b) Los huracanes. Ocurren solamente en las zonas tropicales, sobre superficies marinas u oceánicas, afectando las islas y costas continentales.



- c) Las erupciones volcánicas. Son esporádicas y ocurren en zonas - donde generalmente no hay actividad agrícola o industrial intensivas.
- d) Los sismos. También son esporádicas y afectan zonas de poca extensión superficial.
- e) Las heladas. Prácticamente no ocurren en la zona agrícola tropical, limitándose su presencia a determinados períodos del invierno astronómico.
- f) Las sequías. Comparativamente, las sequías tienen un mayor impacto sobre la actividad económica debido a:

su mayor frecuencia  
 su mayor duración  
 la mayor superficie afectada.  
 las mayores pérdidas que produce

El estudio de las sequías alcanzó una notable importancia durante el período 1971-1985, debido al impacto que tuvo en las regiones del Sahel y el Sudán africanos. Se estima que un total de 22 países de África y una población de 250 millones de habitantes fueron afectados por el fenómeno.

No vamos a ocuparnos aquí del estudio o la relación histórica de las sequías ocurridas en otras partes del mundo. Nos interesa conocer la forma en que ésta adversidad se presenta en nuestro país.

La deficiencia de agua en una sequía puede ocurrir en forma permanente, estacional o aperiódica.

La deficiencia permanente de agua origina las zonas desérticas. La aridez es el resultado de condiciones particulares del clima en una región. Es una característica del clima, no del tiempo.

La deficiencia estacional de agua da origen a las llamadas estaciones "seca" y "lluviosa" en Venezuela. La duración de cada una de ellas es variable, dependiendo de la ubicación geográfica de la región. Es también un fenómeno climático.

La deficiencia aperiódica de agua ocurre en cualquier época del año, principalmente dentro de la estación "lluviosa". Se trata de una interrupción temporal de la lluvia, que puede alcanzar desde unos pocos días hasta varias semanas y meses. Esta es propiamente la sequía meteorológica, provocada por una situación especial del tiempo, no del clima.

Tomando en cuenta la forma en que la sequía afecta las actividades meteorológicas, hidrológicas y agrícolas, la Organización Meteorológica Mundial ha establecido las siguientes definiciones. (Informe Cons. Ejecutivo, 1990).

a) Se produce una sequía meteorológica cuando hay una ausencia -- prolongada o una deficiencia marcada de precipitación. La sequía meteorológica es un fenómeno temporal, causado por variaciones climáticas, observado generalmente en regiones semiáridas y subhúmedas, pero que también se produce en otras regiones climáticas.

b) Se produce una sequía hidrológica cuando la disponibilidad de las aguas naturales, sea en forma de precipitación, escorrentía de los ríos o aguas subterráneas, se mantiene por debajo de la media durante un largo período y en una región extensa.

c) Se produce una sequía agrícola cuando la cantidad y distribución de las lluvias, los recursos hídricos sobre y/o bajo la superficie, las reservas de agua del suelo y las pérdidas por evaporación se combinan de tal forma que el rendimiento de los cultivos y la cría de animales disminuye notablemente.

#### CAUSAS DE LA SEQUIA.

Las causas de las sequías son variadas, pero podríamos agruparlas así:

- 1) meteorológicas
- 2) de ubicación geográfica
- 3) orográficas
- 4) antropogénicas

Las causas meteorológicas están enmarcadas dentro de los dos parámetros fundamentales que regulan la precipitación; las características de la masa de aire y la circulación de la atmósfera. La humedad disponible y la dirección del viento señalan la posibilidad de ocurrencia o no de una sequía.

Aunque las causas de las variaciones en la circulación de la atmósfera no se conocen muy bien, se ha logrado, sin embargo, determinar ciertas vinculaciones con la temperatura de la superficie del mar. Este conocimiento no es suficiente todavía para realizar una predicción confiable de las sequías.

La ubicación geográfica de una región es un factor, con frecuencia determinante, en la ocurrencia de diferentes clases de sequías. La latitud, la posición de los centros de alta presión y las corrientes oceánicas producen situaciones de sequía estacional o permanente.

La orografía de la zona, es decir, el relieve local y regional (montañas, depresiones) es responsable de muchas sequías estacionales y aperiódicas que se presentan a lo largo del año. El factor orográfico tiene particular importancia en la zona tropical.

El factor antropológico, es decir, el ocasionado por la acción del hombre, se refiere al mal uso y manejo de la tierra, a la erosión provocada por cultivos no apropiados o el pastoreo de animales. Aunque esta acción no es directamente una causal de la sequía, contribuye a acentuar la deficiencia de agua, particularmente en las regiones semiáridas.

#### DETECCION DE LA SEQUIA.

Al referirnos a la sequía notamos que existe una gran variación en la escala de tiempo que se usa para definirla.

El término sequía no debería aplicarse únicamente a los largos períodos con deficiencia de agua, que van desde meses hasta años. A nivel mundial, se acostumbra referirse a las sequías como acontecimientos que abarcan grandes regiones o porciones de continentes, tales como p.ej. el Sahel, el Medio Oriente, el sureste de Asia, etc. y que ocurren durante períodos largos, como son las estacionales (verano, invierno, etc.) y anuales.

Para nosotros, y a nivel nacional, pensamos que tienen mayor importancia y deberíamos estudiar con mayor profundidad, las sequías que podríamos llamar "de corto plazo". Nuestras sequías agrícolas y las hidrológicas caen dentro de esta categoría.

Cuando una zona registra daños y pérdidas por insuficiencia del agua disponible, como resultado de la ausencia de precipitación, debe señalársele como "zona de sequía" y adoptar las medidas apropiadas para su recuperación. Debemos recordar que una sequía agrícola puede producirse en nuestro país con apenas pocas semanas de ausencia de lluvia. Y los daños causados a los cultivos llegan a ser considerables si la sequía ocurre en los períodos críticos de su desarrollo.

Se ha señalado que la sequía meteorológica es la más importante entre las mencionadas anteriormente.

Goldbrunner expresa que desde el punto de vista meteorológico se ha definido hasta ahora en Venezuela como un mes de sequía o "mes seco" cuando la precipitación es menor de 25 mm. Este valor corresponde al promedio mensual de lluvia que separa a los climas áridos y semiáridos de la clasificación de Koppen. Asimismo, señala que un mes lluvioso es el que registra una precipitación mayor de 50 mm. Pero considera más importante para nuestro país definir la fecha de comienzo de la estación lluviosa.

En cuanto a la sequía hidrológica, su detección exige el establecimiento previo de valores normales o medios que sirvan de referencia. Estos valores normales de escorrentía, caudales, niveles de lagos y presas, deben determinarse para cada cuenca hidrográfica y para cada época del año. La sequía se inicia cuando la curva de disponibilidad de agua se ubica por debajo del valor normal de referencia. En nuestro país deberían fijarse los valores para el caso de cuencas intervenidas y para el caso de cuencas naturales no intervenidas.

La sequía agrícola está directamente ligada a la humedad disponible en el suelo. La deficiencia de agua ocurre cuando la disponibilidad es inferior al requerimiento de agua de los cultivos. La detección de la sequía agrícola exige conocer dos (2) parámetros; la exigencia hídrica del cultivo y el valor de la humedad del suelo a diferentes profundidades.

Una característica propia de la sequía agrícola es que como sus efectos son de carácter biológico (marchitez, caída de hojas, disminución de rendimientos, etc.) no es fácil detectarla en su comienzo. A veces se produce una sequía "oculta" que afecta a la planta, aun cuando las deficiencias de agua no sean grandes. Y también existe la sequía "absoluta", que ocurre cuando la humedad del suelo se encuentra por debajo del "punto de marchitez permanente" (PMP).

#### ANALISIS DE LAS SEQUIAS.

Los métodos para estudiar sistemáticamente las sequías se han desarrollado apenas en los últimos 50 años (a partir de 1940).

Según YEVJEVICH (1978) los estudios sobre sequías pueden clasificarse bajo los siguientes títulos:

- 1) Características de las sequías
- 2) Impactos de las sequías
- 3) Medidas de control
- 4) Estrategias y manejo de las medidas de control

#### Características.

Como principales características pueden mencionarse:

- a) Comienzo. ( $t_i$ ) Es la fecha en que la escasez de agua es aguda.
- b) Terminación. ( $t_f$ ) Fecha en que la escasez de agua es pequeña.
- c) Duración. (D) Es el tiempo entre el comienzo y la terminación

$$D = t_f - t_i$$

- d) Magnitud. (M). Es el volumen del déficit de agua. Equivale a la profundidad total de la deficiencia de agua acumulada (P) multiplicada por el área (A) afectada.

$$M = \bar{P} \cdot A$$

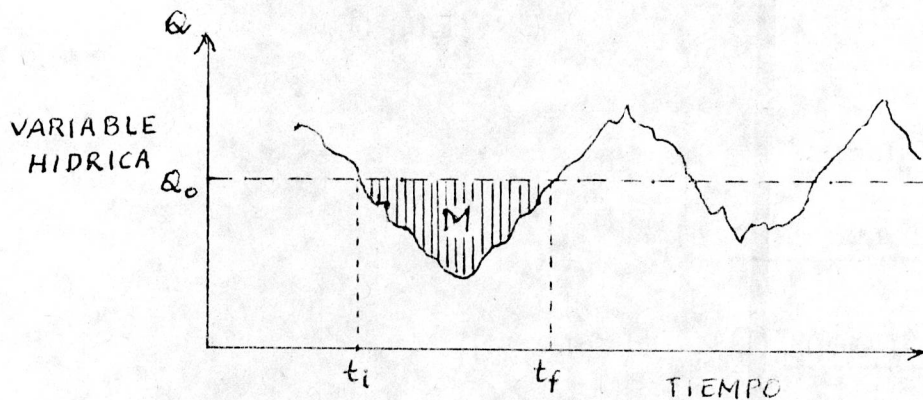
Esta magnitud M viene en unidades de volumen.

- e) Intensidad (I). Es la relación entre la magnitud y la duración.

$$I = \frac{M}{D}$$

I es una medida de la severidad de la sequía.

- f) Superficie afectada. Es la zona que abarca la sequía.



$$D = t_f - t_i$$

$$M = P \cdot A$$

$$I = \frac{M}{D}$$

La figura representa una serie de tiempo con una variable hídrica (Q). Esta variable puede ser: precipitación, gasto, nivel de depósito o presa, humedad del suelo, etc.

Se ha seleccionado un valor de referencia  $Q_0$ . Este nivel intersecciona varias veces la curva.

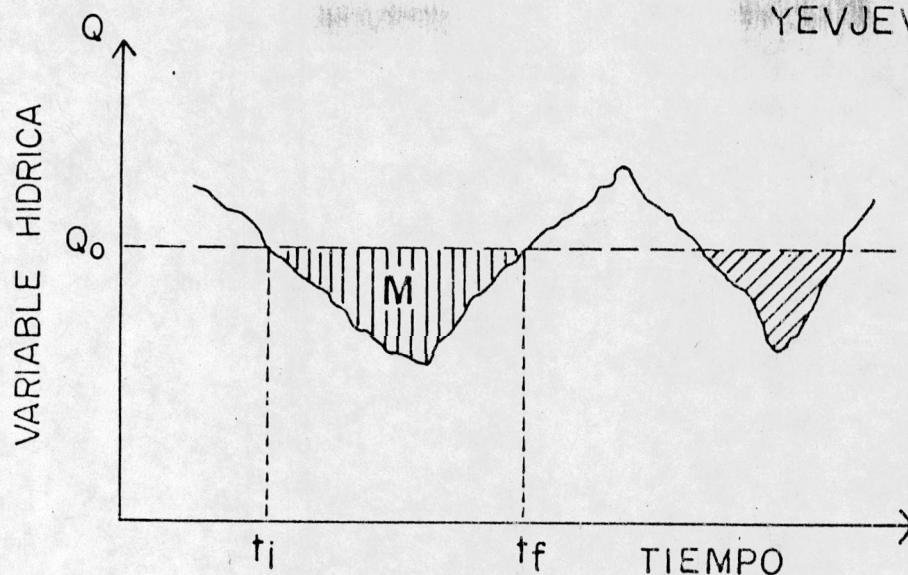
Se define como "ciclo" a la porción de la curva (o serie) donde todos los valores están por arriba (ciclo positivo) o por debajo (ciclo negativo) del valor de referencia  $Q_0$ .

En la figura,  $t_i$  representa el comienzo del primer ciclo negativo y  $t_f$  el final del mismo. La longitud o duración del ciclo es:

$$D = t_f - t_i$$

## CARACTERISTICAS DE LAS SEQUIAS

YEVJEVICH, 1978



a) Comienzo :  $t_i$

b) Terminación :  $t_f$

c) Duración (D) :  $D = t_f - t_i$

d) Magnitud (M) : Volumen del déficit de agua

$$M = P \times A \quad \left\{ \begin{array}{l} P = \text{profund. def. agua acum.} \\ A = \text{área afectada} \end{array} \right.$$

e) Intensidad (I) :  $I = \frac{M}{D} \frac{\text{(volumen)}}{\text{(tiempo)}}$

f) Superficie afectada : A

MÉTODOS PARA ANÁLISIS DE DATOS :

- 1.. INDICES
- 2.. EMPIRICO
- 3.. ANALITICO
- 4.. GENERACION DE DATOS

La suma de todas las desviaciones entre el nivel de referencia y la curva durante el ciclo negativo representa la magnitud (M) del déficit.

Por ejemplo: Si Q es el gasto de una corriente,  $Q_0$  el valor de referencia o crítico para un determinado período, la magnitud de la sequía (M) es igual a la profundidad (P) o suma de las deficiencias, multiplicada por el área (A) correspondiente.

La intensidad (I) viene dada por 
$$\frac{\text{Magnitud (en volumen)}}{\text{Duración (en tiempo)}}$$

NOTA. El nivel de referencia  $Q_0$  puede ser inferior a la media de Q ó a algún valor de demanda de agua, y no necesariamente es constante. Puede fluctuar periódicamente. Sin embargo, la mayor parte de las teorías sobre "ciclos" se han basado en el hecho de asumir un nivel de referencia constante.

El grado de deficiencia, según Yevjevich (1977) es caracterizado así:

Escasez. Hay una diferencia temporal entre demanda y abastecimiento.

Deficiencia. Hay ausencia de agua en un lugar durante un tiempo determinado. Las consecuencias son moderadas.

Sequía. Es la deficiencia de agua con duración prolongada y en superficie extensa, con fuertes impactos sobre la región.

#### METODOS PARA ANALISIS DE DATOS.

Existen 4 tipos de métodos para analizar los datos de sequías:

- 1) Indices
- 2) Empírico
- 3) Analítico
- 4) Generación de datos

1.- Un índice de sequía puede definirse como una escala de severidad de la sequía. Es generalmente adimensional y permite la comparación de las características de la sequía en tiempo y espacio.

Los índices se derivan de los registros históricos de una o más variables y se combinan para formar alguna escala arbitraria que luego se usa para clasificar las sequías. Un ejemplo de este tipo es el índice de Palmer, que es ampliamente usado en Estados Unidos y otros países.

2.- El análisis empírico de los datos se refiere a aquellos métodos donde un parámetro de sequía es estimado utilizando únicamente el período de registro. No se utiliza un modelo teórico.

Se diferencia del método de índice por el hecho de que define una propiedad de la variable de humedad. P. ej. días consecutivos sin lluvia, número de años por debajo del promedio, etc.

3.- El método analítico implica el uso de un modelo teórico, del cual puede derivarse el comportamiento de la sequía. P. ej. el análisis por la serie de Markov puede usarse para modelar la variable de agua que se considere, y las propiedades particulares de la sequía pueden ser derivadas en forma cerrada.

4.- Las técnicas de generación de datos están relacionadas con el método empírico de análisis de datos. Sin embargo, en la aproximación empírica solamente se utiliza el record histórico simple, y representa apenas una situación ocurrida dentro de las muchas posibles secuencias de tiempo que pudieron haber ocurrido. Por eso su valor es limitado para predecir posibles secuencias futuras.

En el método de generación de datos, la información estadística es tomada de las series históricas y luego se usa para generar numerosas y posibles secuencias futuras.

#### Índice de Palmer.

En 1968, Wayne G. Palmer desarrolló un "índice de humedad de cultivo" (Crop Moisture Index, CMI) para hacer evaluaciones semanales de las condiciones de humedad de los cultivos en los Estados Unidos. Utilizó las 344 divisiones climatológicas existentes, que son zonas más o menos homogéneas climatológicamente. Cada Estado tiene entre 5 y 10 divisiones.

El índice trata de dar respuesta a problemas de gran escala y no a problemas de tipo local. Está basado en la información meteorológica disponible, básicamente la temperatura media y la precipitación semanales.

El índice CMI está formado por la suma de 2 factores. Uno de ellos es normalmente negativo o cero, y mide la severidad de la sequía. El otro factor es siempre positivo o cero, siendo una medida del grado de humedad que tiene el suelo para cultivos y trabajos de campo.

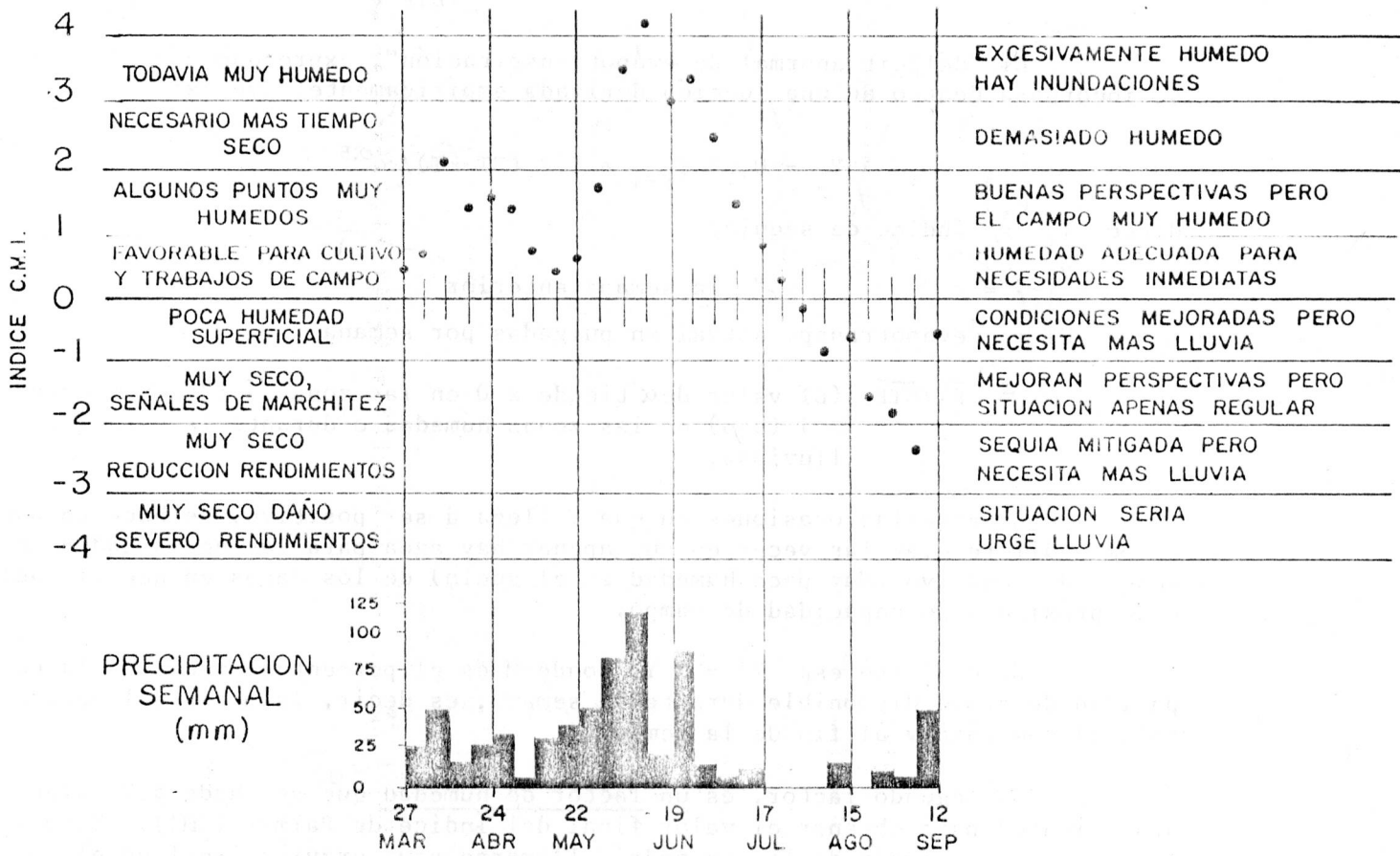
El factor de sequía es el valor computado del "déficit anormal de evapotranspiración". Esta cantidad es la diferencia entre la evapotranspiración actual (semana/) y la evapotranspiración "esperada".

La evapotranspiración actual es computada, por escasez de mediciones directas, tomando en cuenta la ETP y la precipitación durante la semana. Asimismo, se calcula la cantidad de agua disponible en el suelo al comienzo de la semana. Esta humedad del suelo se expresa en porcentaje (%) de la capacidad existente.

# INDICE DE PALMER Y PRECIPITACION SEMANAL

MAS SECO  
que semana anterior

MAS HUMEDO  
que semana anterior



NOTA : Usar la leyenda de la izquierda para las semanas cuando disminuye el indice.  
Usar la leyenda de la derecha para las semanas cuando aumenta el indice.

Sin embargo, aunque el índice empieza a disminuir desde Julio, es solamente a mediados de agosto cuando tiene valores negativos y se observa la intensificación de la sequía. Es decir, el índice señala sequía un mes después de haber cesado las grandes precipitaciones.

La situación de la zona queda descrita en la escala de la derecha (Más húmedo que la semana anterior) cuando el índice aumenta, es decir, se desplaza hacia lo alto de la figura. Cuando el índice disminuye gradualmente, entonces la escala de la izquierda (Más seco que la semana anterior) es la que describe las condiciones existentes.

Las curvas correspondientes al Índice de Palmer son trazadas en el mapa de los Estados Unidos con una frecuencia semanal. En la figura las líneas en firme corresponden a los valores positivos y las líneas de trazos corresponden a los valores cero (0) y negativos.

En el mapa se incluye además el trazado de unas áreas sombreadas, que corresponden a aquellas regiones donde el índice actual supera el valor obtenido la semana anterior. En esta forma se quiere mostrar la tendencia favorable que existe en una determinada región para mejorar sus condiciones de humedad.

Como es natural, la ubicación de las zonas sombreadas no sigue un patrón definido. Simplemente nos dicen que las condiciones de sequía son menos graves que la semana anterior o que las condiciones de humedad se han incrementado.

#### OTROS METODOS DE ANALISIS.

Brevemente mencionaremos uno de los métodos utilizados en el Canadá para definir numéricamente y gráficamente la categoría de la zona en cuanto a la disponibilidad de humedad.

La jerarquización se hace de acuerdo al porcentaje de la capacidad de humedad que tiene el suelo. Las zonas con más de 90 % se consideran húmedas y las que tienen menos de 30 % se definen como extremadamente secas.

La curva de humedad que aparece en el mapa del Canadá se forma con las mediciones realizadas cada 7 días en una vasta red de puntos de observación, particularmente en las zonas agrícolas y forestales.

En la India, una zona o lugar se considera afectado por la sequía cuando la precipitación del monzón de verano es menor que el 75 % de su valor normal, es decir, cuando la deficiencia supera el 25 %.

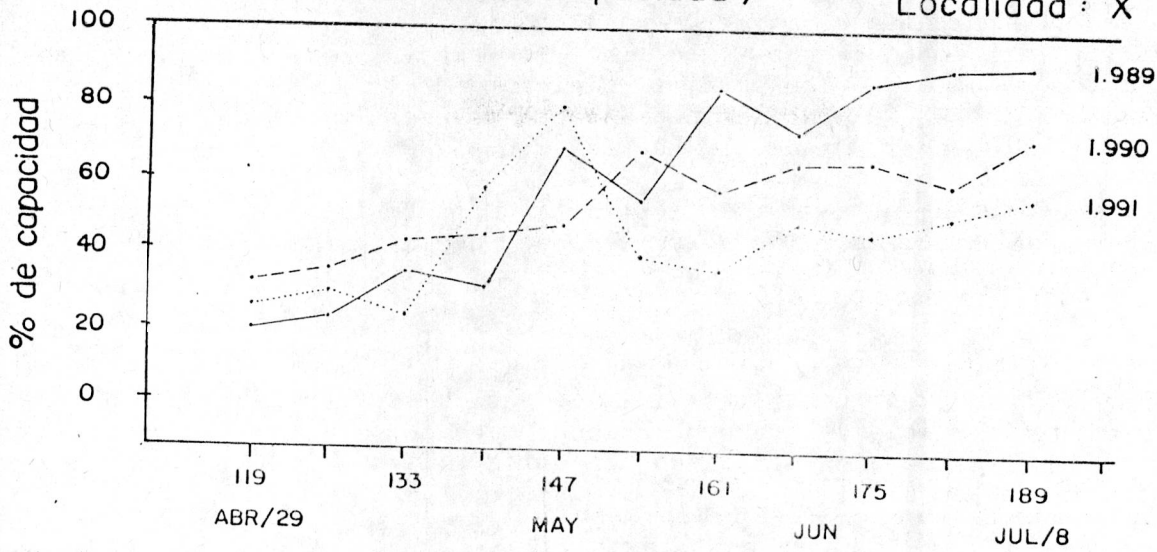
El período del monzón va desde junio hasta setiembre (4 meses) y se establece que:

entre -26 y -50 %	hay una sequía <u>moderada</u>
con un déficit -50 %	" " " <u>severa</u>

HUMEDAD DEL SUELO SEMANAL

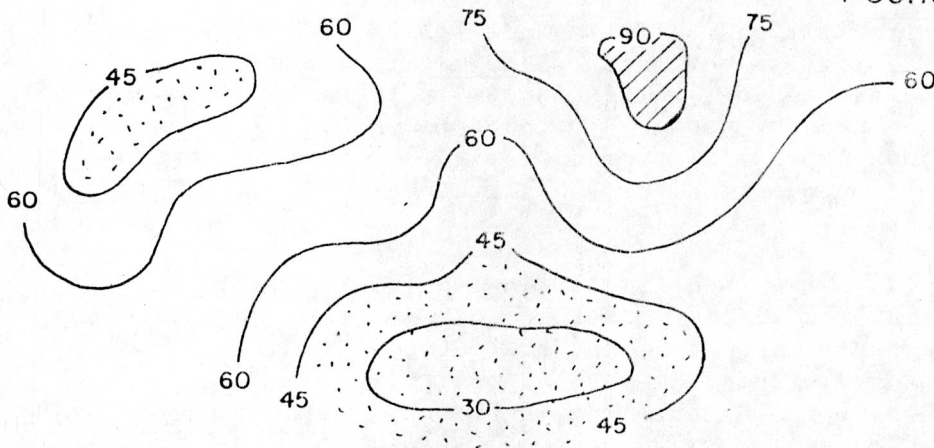
( en % de capacidad )

Localidad : X



MAPA DE HUMEDAD DEL SUELO

Fecha : / /



DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD

<u>Categoría</u>	<u>Humedad disponible</u>
HUMEDO .....	90 - 100 %
ADECUADO .....	60 - 90 %
SECO .....	45 - 60 %
MUY SECO .....	30 - 45 %
EXTREMADAMENTE SECO...	0 - 30 %

Las plantas sufren "stress" con niveles < 60 %

El porcentaje de frecuencias se muestra gráficamente trazando las curvas para los dos casos (moderada y severa). En la figura se observa la frecuencia de sequías severas en el mapa de la India. En la parte occidental-norte el 20 % de las sequías son severas, mientras en la parte nororiental apenas el 2 % de las sequías son severas.

También se acostumbra mostrar el mapa de frecuencias por regiones o estados, utilizando las "desviaciones" de la precipitación durante el período junio-setiembre (período monzónico).

#### SEQUIAS EN VENEZUELA.

Tomando en cuenta las limitaciones existentes debido a la poca información disponible de grandes regiones de Venezuela, no es posible la aplicación de los métodos utilizados en otros países para la detección y el análisis de las sequías.

De momento, pensamos que los estudios deben realizarse a nivel puntual y regional. Un ejemplo de la metodología que puede usarse se muestra en los gráficos siguientes.

Se han escogido las localidades de Maracay (CENIAP), Bancos de San Pedro (Guárico), Turén (Portuguesa) y Bramón (Táchira), que disponen de datos de precipitación durante los últimos 30 años (1961-1990).

La curva de precipitación obtenida con los valores medios mensuales para dicho período resulta ser la curva normal para cada una de las 4 localidades, y en los gráficos corresponde a la línea trazada en firme. Adicionalmente, se ha computado el promedio de las desviaciones positivas y negativas con respecto al promedio, para los 30 meses del período. Estas desviaciones se muestran por la barras negras hacia arriba y hacia abajo del valor normal.

Cada una de las barras muestra el rango de variación de la precipitación mensual para cada localidad. Podemos decir que toda precipitación que se ubique dentro de ese rango debe considerarse como "normal", habida cuenta de la variabilidad existente. Cuando la precipitación mensual cae por arriba o por abajo del rango establecido, habrá una anomalía por exceso o por deficiencia.

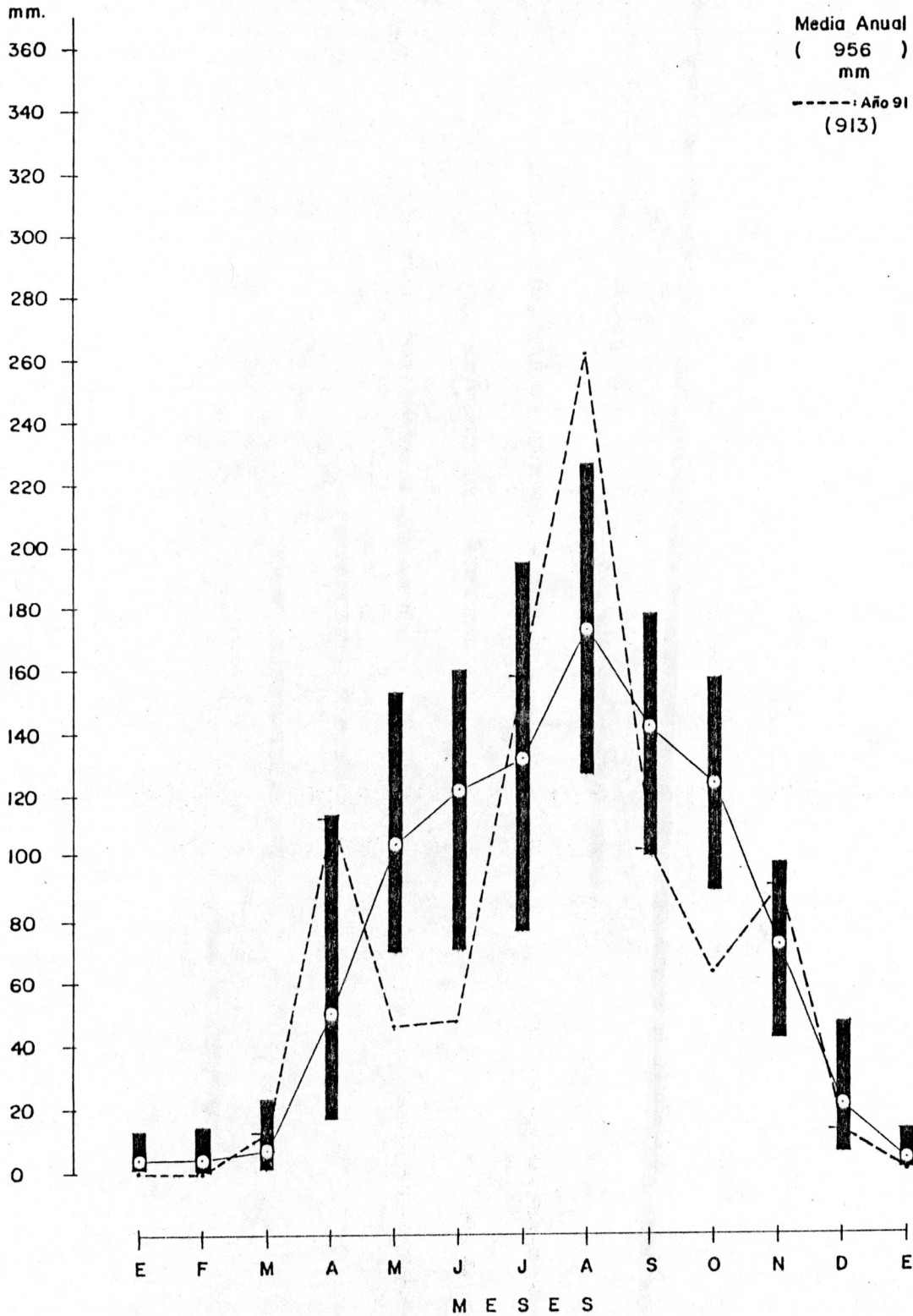
Esta última anomalía es la sequía, mientras que la primera podría calificarse como "exceso de agua". Los meses de sequía quedan identificados en forma rápida y sencilla. El procedimiento es de tipo climatológico porque usamos los datos históricos de la localidad.

Si analizamos el año pasado (1991) vemos que en Maracay ocurrieron 3 meses de sequía ((Mayo, junio y octubre) y un mes con exceso de agua.

En Bancos de San Pedro también hubo 3 meses de sequía, (Mayo, junio y setiembre) acompañados de 2 meses con exceso de agua (Abril y agosto). El gráfico de Turén muestra 5 meses de sequía (Mayo, julio, agosto, setiembre y noviembre) y 2 meses con excesos (marzo y junio). Finalmente, la localidad de Bramón registró 4 meses con deficiencia (abril, junio, octubre y noviembre) y solamente un mes (agosto) con exceso de agua.

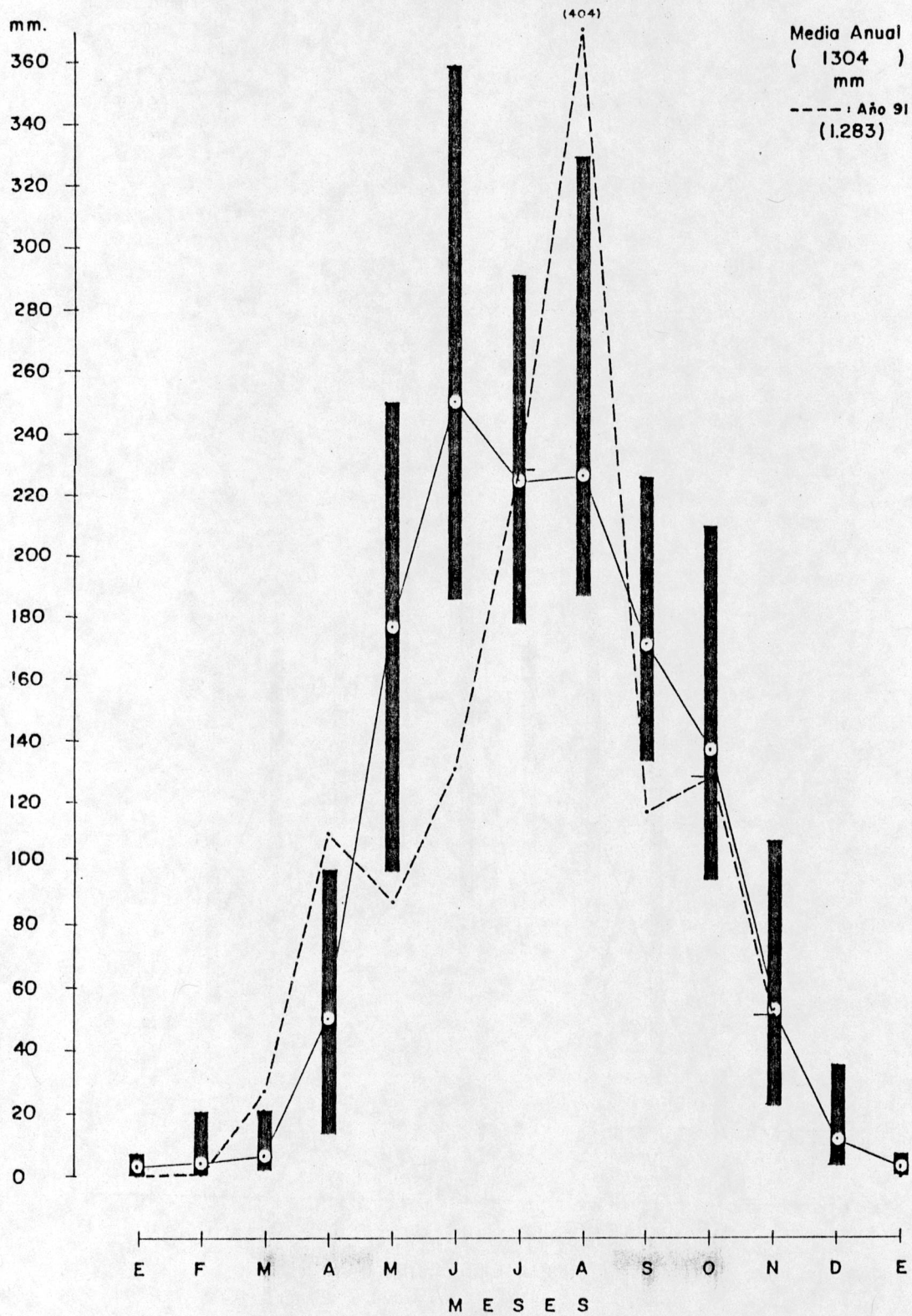
# PRECIPITACION Y DESVIACION MEDIA MENSUALES EN (mm) PERIODO 1961-1990

Localidad : Maracay - Ceniap , Edo. Aragua



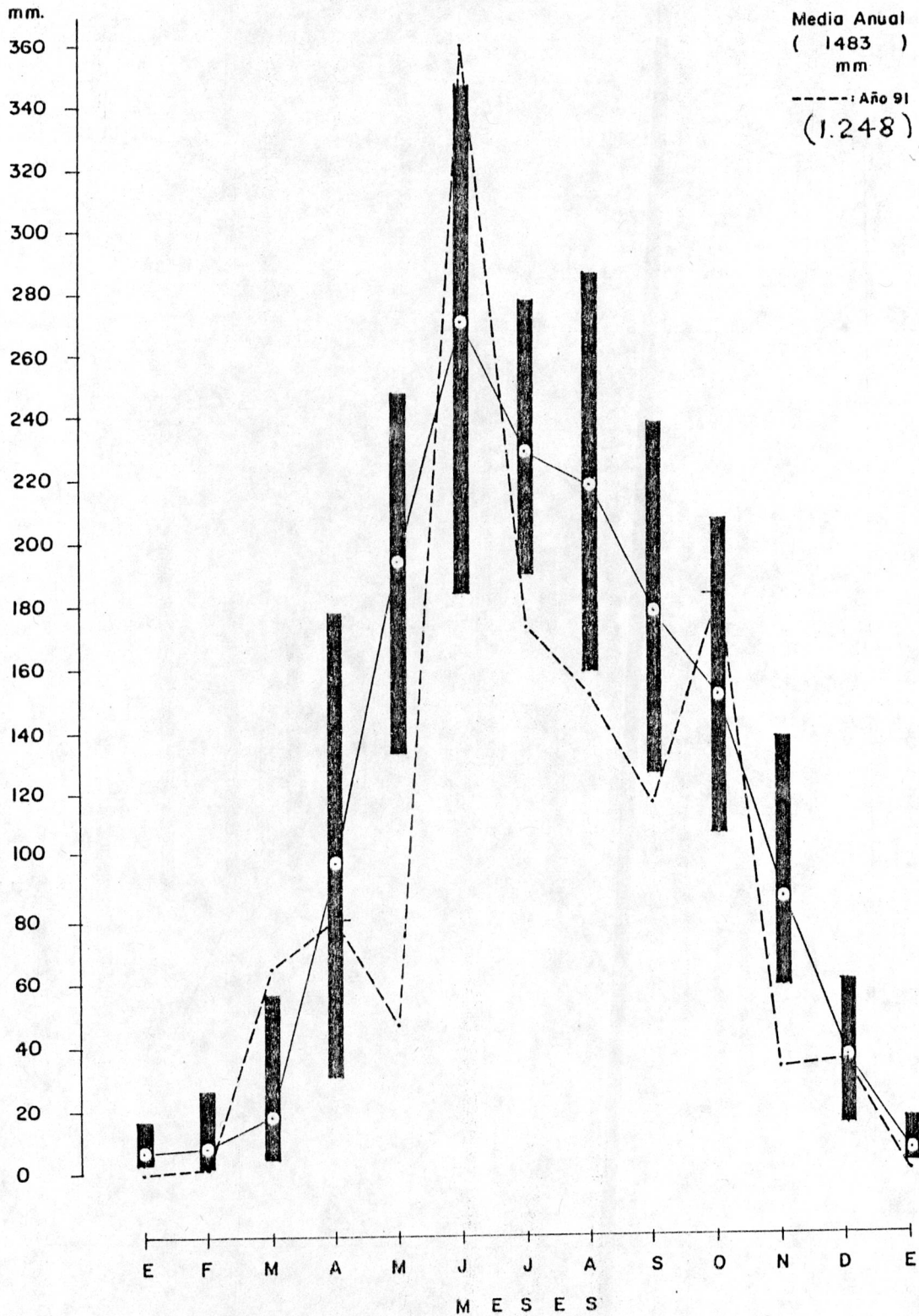
# PRECIPITACION Y DESVIACION MEDIA MENSUALES EN (mm) PERIODO 1961-1990

Localidad : Bancos de San Pedro , Edo. Guárico



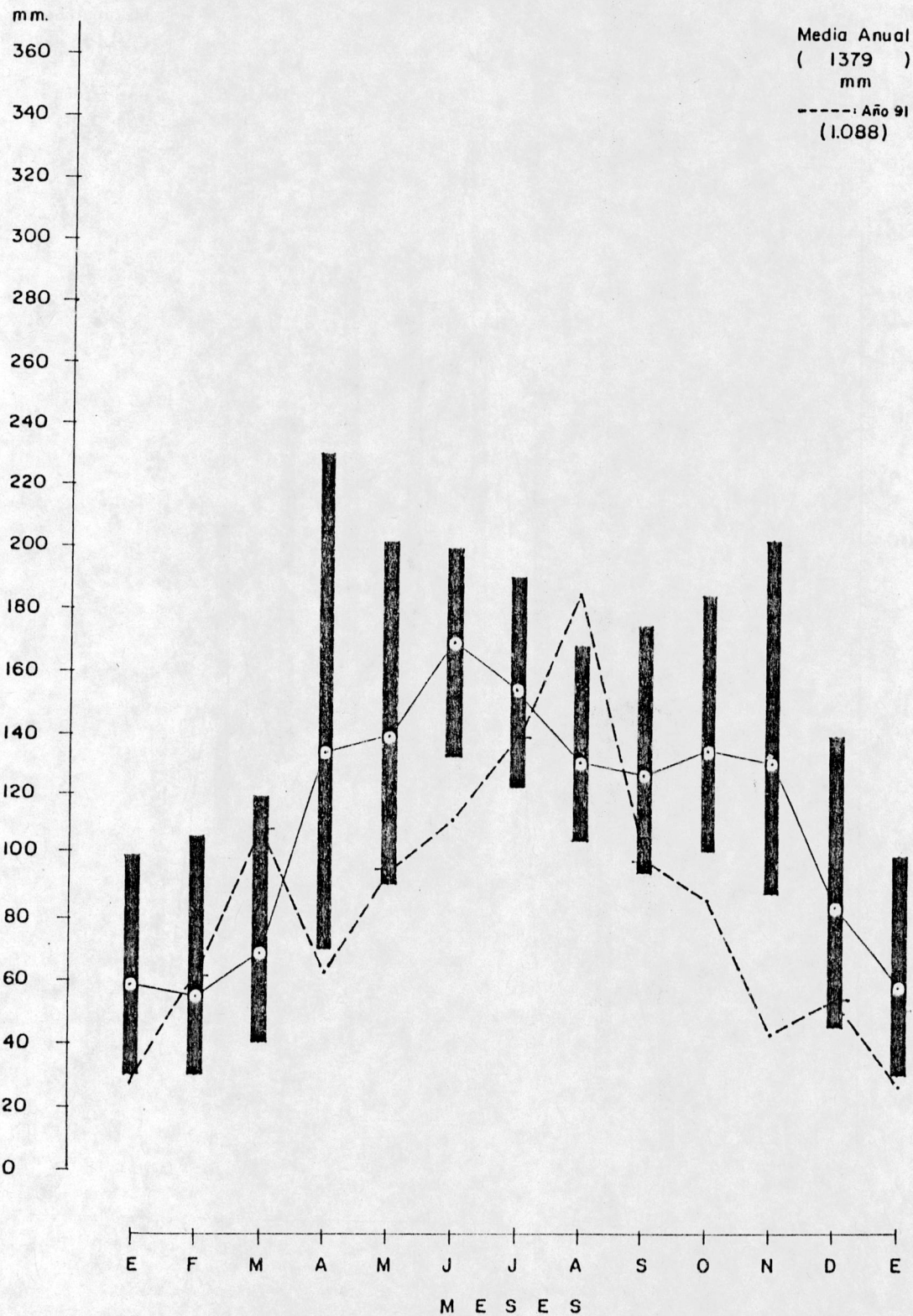
# PRECIPITACION Y DESVIACION MEDIA MENSUALES EN (mm) PERIODO 1961-1990

Localidad : Turén , Edo. Portuguesa



# PRECIPITACION Y DESVIACION MEDIA MENSUALES EN (mm) PERIODO 1961-1990

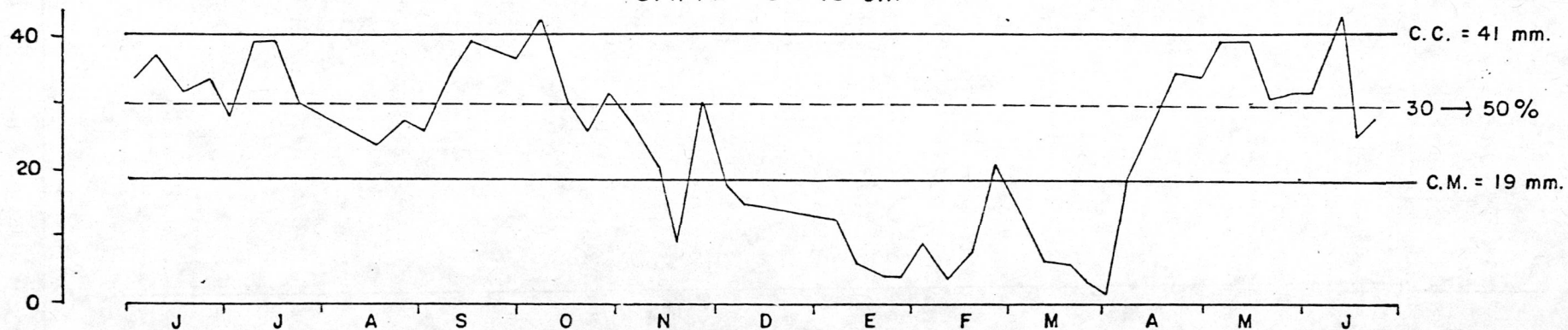
Localidad : Bramón , Edo. Táchira



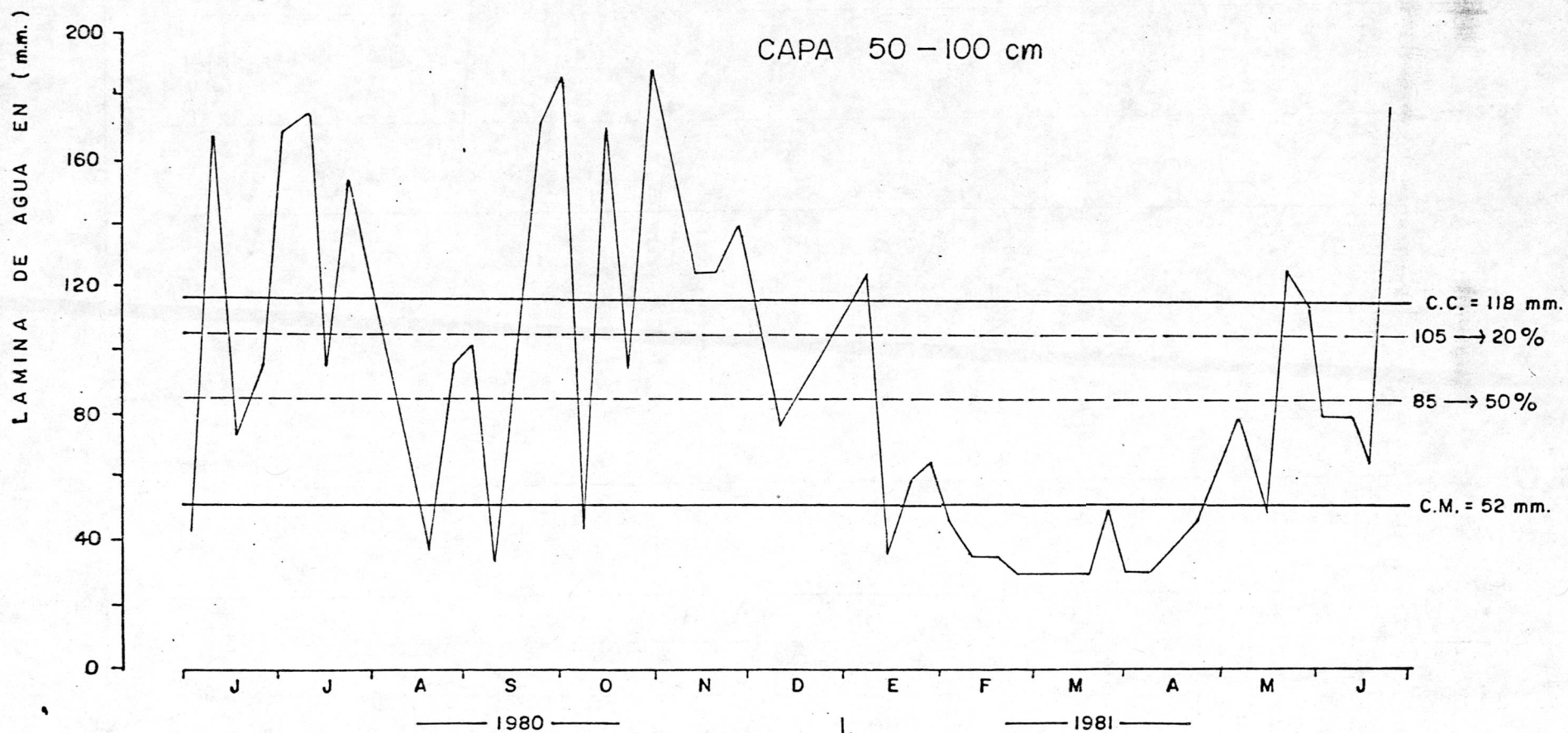
MARACAY — CENIAP — HUMEDAD DEL SUELO

Período: Junio/80 a Junio/81

CAPA 0 - 10 cm



CAPA 50 - 100 cm



408

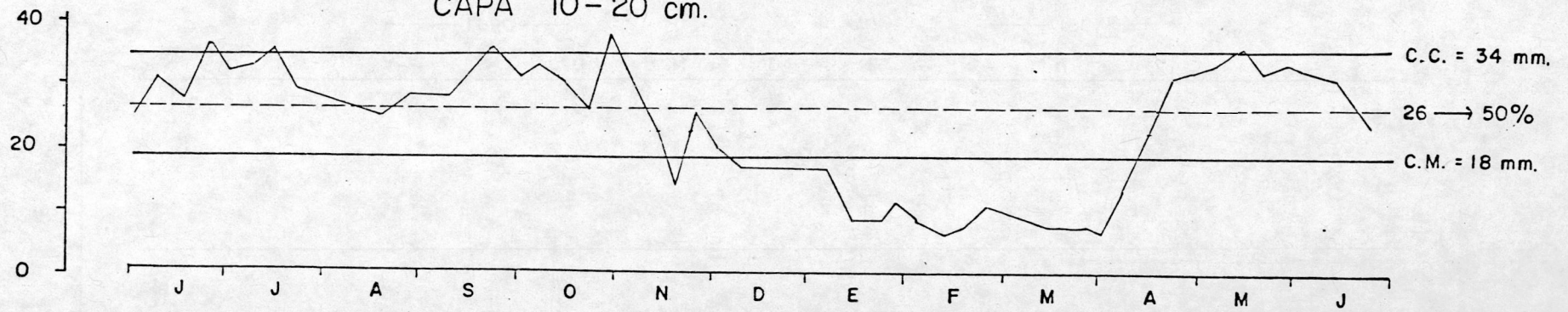
— 1980 —

— 1981 —

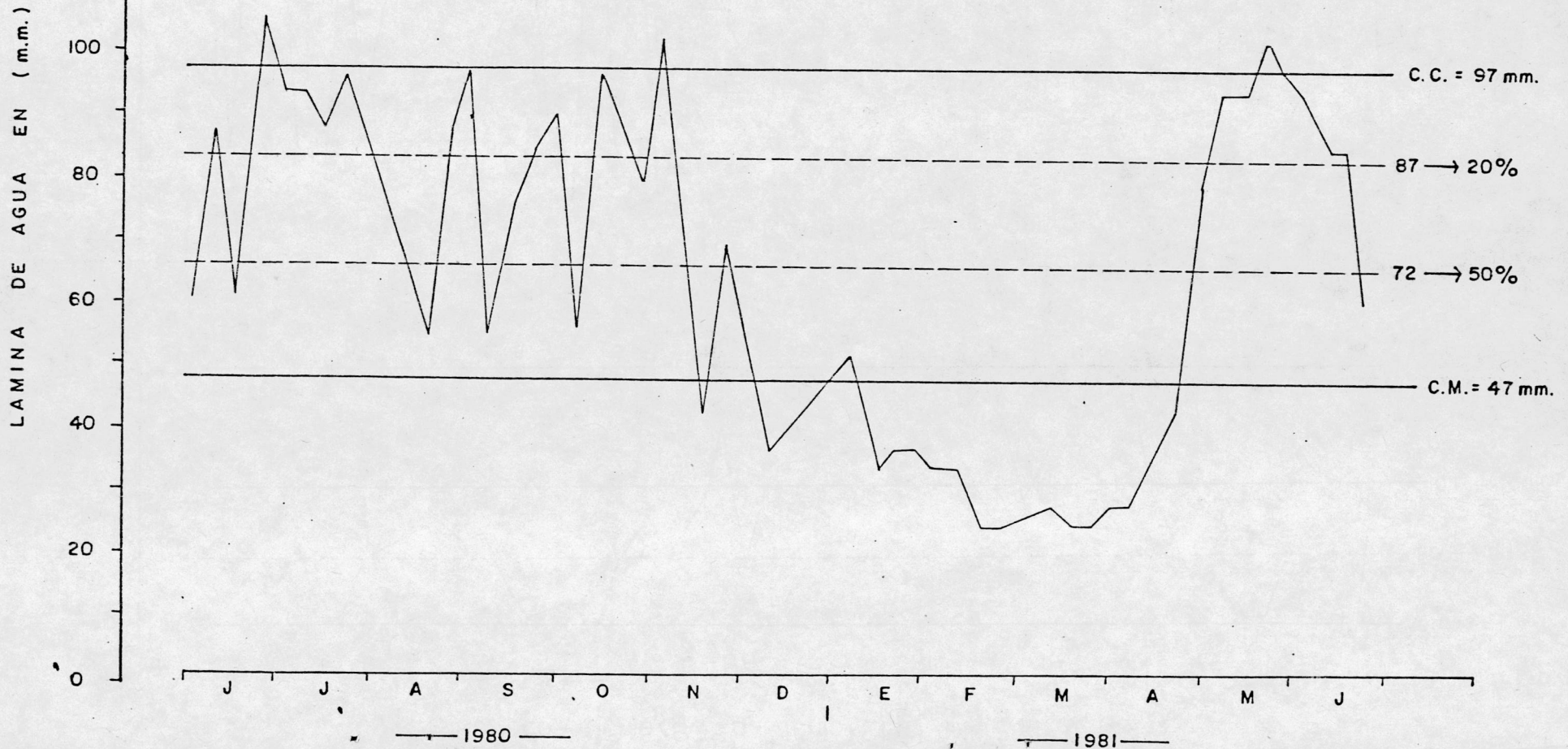
MARACAY - CENIAP - HUMEDAD DEL SUELO

Periodo: Junio/80 a Junio/81

CAPA 10-20 cm.



CAPA 20-50 cm.



La comparación de los totales anuales con la normal anual no refleja la distribución irregular de la lluvia durante 1991.

Ya hemos dicho que desde el punto de vista agrícola la sequía adquiere una importancia relevante porque significa cuantiosas pérdidas económicas. Un análisis de nuestras sequías "agrícolas" exige la medición sistemática de la humedad del suelo. Aún no se ha elaborado un plan a nivel nacional para ejecutar estas mediciones regularmente, bien sea con carácter estacional o permanente, en las estaciones experimentales agrícolas y en zonas importantes de producción.

En Maracay se realizaron mediciones directas semanales de la humedad del suelo durante un año (junio-1980 a junio 1981). Los resultados se observan en los dos últimos gráficos.

Se determinaron en primer lugar las constantes físicas para cada una de las 4 capas del suelo hasta un metro de profundidad: 0 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 50 cm. y 50 - 100 cm. Con los valores obtenidos para densidad, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, se trazó la curva de humedad, expresada en mms. (lámina de agua).

El período de "sequía absoluta" está determinado por la parte de la curva que está por debajo del punto de marchitez permanente (o coeficiente de marchitez, C.M.). En las capas superiores, comienza a partir del 1º de Diciembre, mientras que en la capa 50 - 100 cm. ocurre casi 2 meses después (1/Feb).

Consideramos que ocurre una sequía "moderada" en las capas superficiales (0 - 10 y 10 - 20 cm) cuando el agua disponible es inferior al 50 % del agua útil (capacidad de campo - punto de marchitez). El 50 % en la capa de 0-10 corresponde a 30 mm., y en la capa 10-20 corresponde a 26 mm.

Para las capas 20 - 50 cm y 50 - 100 cm podemos considerar dos (2) niveles de humedad entre el C.C. y el C.M., que serían los límites 20 % y 50 % del agua útil. La jerarquización sería entonces:

- entre C.C. y 20 % ..... Nivel adecuado de humedad
- " 20 % y 50 % ..... Sequía ligera
- " 50 % y C.M. .... Sequía moderada
- inferior al C.M. .... Sequía severa ó "absoluta"

Los valores de la humedad del suelo deben complementarse con las observaciones directas y simultáneas del estado de los cultivos, con el fin de establecer relaciones humedad-cultivo que permitan elaborar pronósticos a corto plazo, analizando las tendencias que se determinen.

#### Bibliografía.

- Palmar, Wayne C. (1968). The new crop moisture index. Weatherwise, vol. 21, N° 4, Boston, Mass. USA.
- Appa Rao, G. (1986). Mapas de probabilidad de sequías. Reporte CAGM-OMM, Ginebra
- Raddatz, R.L. (1990). Soil Moisture conditions in Canada. Rev. Drought (IDIC), USA
- Salas, José D. (1986). Statistical Techniques for describing drought characteristics. Int. Seminar on drought analysis, Perugia, Italia.
- Sánchez C., Jesús (1984) Humedad del suelo en el campo experimental del CENIAP. Publ. FONAIAP? serie C n° 7-02, Maracay.

