



I-29

# PRIMER ENCUENTRO NACIONAL SOBRE CLIMA, AGUA Y TIERRA

Caracas, 8 al 12 de Noviembre de 1983

## I Jornadas Nacionales de Hidrología, Meteorología y Climatología.

TEMA: CLIMATOLOGIA  
Aplicada

TITULO: COMPUTACION APLICADA A LA CLASIFICACION DE CLIMAS

AUTOR: RICARDO PONTE R.  
Universidad de Los Andes

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA



ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

COMPUTACION APLICADA A LA CLASIFICACION DE LOS CLIMAS

Ricardo R. Ponte Ramírez\*

RESUMEN

Se aplicaron técnicas de computación al método de clasificación climática de W. Köppen; método cuantitativo, rápido y eficaz, que se emplea para dar a los límites de las zonas y tipos climáticos valores definidos de sus elementos (temperatura y precipitación) mediante fórmulas empíricas que se basan tanto en los promedios anuales o mensuales de dichos elementos como en sus variaciones estacionales.

Se diseñó un programa "Köppen" en FORTRAN IV para determinar la zona y tipo climático de una localidad a nivel mundial o regional, además el programa grafica las variaciones estacionales mensuales de temperatura y precipitación, lo que es de gran importancia en los estudios agrícolas, así como también en la ejecución de obras hidráulicas y civiles de cualquier género.

Los resultados obtenidos muestran que el programa Köppen facilitará la tarea rutinaria de investigadores, ingenieros, geógrafos y estudiantes involucrados en investigaciones climatológicas.

INTRODUCCION

La base de la potencialidad económica de un país es, sin duda, el conjunto de sus recursos naturales. El inventario y el reconocimiento de éstos es una necesidad ineludible cuando se quiere propender al desarrollo económico y social, por lo que resulta indispensable para cualquier planificación racional del gobierno.

Muy pocas veces se ha señalado que el clima debe ser considerado y tratado como un recurso natural de particular importancia. Tal vez esto se deba a que, a pesar de ser un recurso renovable, el hombre tiene muy poca o ninguna acción sobre él. No le puede destruir como a la vegetación natural o al suelo. Debe aceptarlo tal cual es o tratar de sacar ventajas de él, empleando técnicas indirectas. Sin embargo, este recurso, quizás más que ningún otro, condiciona en una forma casi determinante la fisonomía de un país: la idiosincracia de sus habitantes, la diversidad y productividad de su agricultura, la posibilidad y el carácter de la industria, las modalidades de su ganadería, etc. El peso de estos hechos, si bien no suficientemente reconocidos, ha determinado en las últimas décadas un interés inusitado en la información y en la investigación climatológica.

---

\* Ingeniero Hidrometeorologista, Profesor Agregado, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

## OBJETIVO

El presente trabajo tiene por objetivo principal la elaboración de un programa de computación en FORTRAN IV aplicado a la clasificación de los climas a nivel mundial según la clasificación de W. Köppen.

Este programa facilitará la tarea de los investigadores y técnicos de las diferentes ramas geográficas que tienen que utilizar los resultados de la Climatología. Además responde a una real necesidad, puesto que no se encuentra en la bibliografía nacional un trabajo de este tipo.

## METODOLOGIA

El mérito de la clasificación de Köppen es que es un sistema cuantitativo, que emplea para dar a los límites de las zonas y tipos climáticos valores definidos de sus elementos (temperatura y precipitación) mediante fórmulas empíricas que se basan tanto en los promedios anuales o mensuales de dichos elementos como en sus variaciones estacionales.

La clasificación de Köppen ha resultado la de mayor difusión y aplicación en geografía en casi todo el mundo, debido a su base racional y a la sencillez y facilidad con que pueden obtenerse los valores de los elementos temperatura y precipitación que utiliza.

Las bases teóricas del sistema climático de Köppen se encuentran explicadas en numerosas publicaciones y por lo tanto no se discutirán en este trabajo.

Dada la naturaleza del trabajo, los lineamientos metodológicos del mismo son los que corresponden a la elaboración de un programa de Computación en FORTRAN IV.

## OBJETO DEL PROGRAMA

El programa KÖPPEN tiene por objeto asignar a una región o localidad determinada un particular subgrupo climático basándose solamente en los registros de temperatura y precipitación del lugar, durante un período de tiempo lo suficientemente largo para obtener valores medios satisfactorios.

El programa calcula los doce tipos fundamentales de climas. La Tabla N° 1 da las especificaciones para la clasificación del clima de un lugar, comenzando con la temperatura media anual (T) y las temperaturas medias para cada uno de los doce meses, la precipitación media para los mismos y el total de la precipitación anual (P).

El programa determina si el lugar se cuenta entre los climas de estepa-desierto (tipo B) o entre los climas arbóreos (A, C, D) o entre los climas polares de tundra-Glacial (tipo E).

Además efectúa el gráfico de la variación anual de las variables precipitación y temperatura, facilitando la interpretación de los resultados obtenidos.

Tabla No 1. Especificaciones de los tipos climáticos, de acuerdo con el Sistema de Clasificación de Köppen

Nombre del tipo de clima	Símbolo	Precipitación (cm)		Temperatura (°C) mes	
		Estación de la Máxima	Cantidades	Más Frío	Más Cálido
Selva Tropical Húmeda	Af	Todo el año	Mes más seco 6 cm.	Más de 18°C	
Selva Tropical húmeda con monzón	Am	Casi todo el año	Mes más seco 6 cm.	Más de 18°C	
Sabana Tropical	Aw	Verano	Mes más seco 6 cm.	Más de 18°C	
Estepa (Semiárido)	BS	Invierno	P > I		*
		Todo el año	P > I+7		
		Verano	P > I+14		
Desierto (árido)	BW	Invierno	P < I		*
		Todo el año	P < I+7		
		Verano	P < I+14		
Mesotérmico húmedo	Cf	Todo el año	Ni Cw ni Cs	-30°C a + 18°C	**
Mesotérmico con invierno seco	Cw	Verano	El mes más húmedo del verano, 10 veces más húmedo que el mes más seco del invierno.	-30°C a + 18°C	**
Mesotérmico con verano seco	Cs	Invierno	El mes más húmedo del invierno, tres veces más húmedo que el mes más seco del verano.	-30°C a + 18°C	**
Microtérmico húmedo	Df	Todo el año	Como Cf	Menos de -30°C	**
Microtérmico con invierno	Dw	Verano	Como Cw	Menos de -30°C	**
Tundra	ET			0°C a + 10°C	
Glacial	EF			Menos de 0°C	

\* Al tipo B se le asigna un tercer símbolo de acuerdo con las siguientes reglas: (h) caluroso-seco, la temperatura media anual está por encima de los 18°C; (k) fresco y seco, la temperatura media anual está por debajo de 18°C; (k') frío-seco, la temperatura media del mes más cálido por debajo de 18°C.

\*\* A los tipos C y D se les asigna un tercer símbolo de acuerdo con las siguientes reglas: (a) cuando el mes más cálido tiene una temperatura superior a +22°C; (b) cuando este mes tiene una temperatura inferior a +22°C; (c) cuando la temperatura de este mes es inferior a +22°C y hay menos de 4 meses con temperatura superiores a +10°C; (d) cuando la temperatura del mes más frío es inferior a -38°C.

## DESCRIPCION DEL PROGRAMA

El programa KOPPEN está escrito en lenguaje FORTRAN IV y consta de un programa principal y una subrutina PLOTEO.

El programa principal procesa los datos de entrada de cada localidad por clasificar, así como de la impresión de los mismos. También efectúa una serie de operaciones para calcular:

- Mes de mínima precipitación
- " " " " en verano
- " " " " " invierno
- " " máxima precipitación
- " " " " " verano
- " " " " " invierno
- Cantidad total de precipitación en verano
- " " " " " invierno
- Mes más cálido
- Mes más frío
- La oscilación térmica (diferencia entre el mes más cálido y el mes más frío).
- La razón entre la precipitación mensual máxima de invierno dividida por tres.
- La razón de precipitación mensual mínima de verano dividida por diez.
- Identifica el número de meses con una temperatura superior a 10°C.
- Compara la precipitación de invierno con la de verano.
- Identifica los siguientes Indices:

BK1 = 2TMEAN (Cuando la precipitación máxima ocurre en el invierno)  
BK4 = TMEAN

BK2 = 2(TMEAN+7) (Cuando la precipitación ocurre todo el año)  
BK5 = TMEAN+7

BK3 = 2(TMEAN+14) (Cuando la precipitación máxima ocurre en verano)  
BK6 = TMEAN+14

donde TMEAN es la temperatura media anual en °C.

- Separa un primer grupo de climas que designa con la letra B por la condición:

$$PTOT < BK_i(i=1,2,3)$$

donde PTOT es el total de precipitación anual y usará una de las tres ecuaciones según el régimen pluviométrico del lugar.

El grupo B se subdivide en dos, BS y BW, separados por la condición:

$$PTOT > \frac{BK_i(i=1,2,3)}{2} \quad BS \text{ (estepa)}$$

$$PTOT < \frac{BK_i(i=1,2,3)}{2} \quad BW \text{ (desierto)}$$

Al grupo E lo subdivide atendiendo a la temperatura media mensual del mes más cálido (TMAX): si es mayor que 0°C, lo identifica como ET y si es menor que 0°C la identifica como EF.

Finalmente el programa enlaza todos los datos anteriores y determina el clima para la localidad y la subrutina PLOTEO efectúa el gráfico de la variación anual de las variables precipitación y temperatura para cada localidad estudiada.

Con todo esto se obtienen los doce tipos climatológicos ya mencionados en la Tabla N° 1.

El listado del programa Köppen se muestra en el Apéndice A.

#### LISTA DE VARIABLES

Las principales variables utilizadas en el programa KOPPEN son las siguientes:

N	=	Número de estaciones a ser clasificadas
NE	=	Contador para conocer el número de estaciones clasificadas
EPLL	=	Nombre de la estación, país, latitud, longitud
ELPE	=	Elevación de la estación (m.s.n.m.), período de registro
PMEN	=	Precipitación media mensual en cm.
PTOT	=	Total de precipitación anual en cm.
PMIN	=	Precipitación media del mes más seco en cm.
PMAX	=	Precipitación media del mes más húmedo en cm.
TMEN	=	Temperatura media mensual en °C
TMEAN	=	Temperatura media anual en °C
TMIN	=	Temperatura media del mes más frío
TMAX	=	Temperatura media del mes más cálido
PMINPV	=	Precipitación media mínima en verano
PMAXPV	=	Precipitación media máxima en verano
PMINPW	=	Precipitación media mínima en invierno
PMAXPW	=	Precipitación media máxima en invierno
SPMEN	=	Variable auxiliar para combinar los PMEN
PMAX3W	=	Razón entre la precipitación media máxima de invierno dividida por tres (3). (PMAXPV/3)
PM10PV	=	Razón entre la precipitación media máxima de verano dividida por diez (10). (PMAXPV/10)
RANGO	=	Oscilación térmica anual (diferencia entre TMAX-TMIN)
NMM10	=	Contador para conocer el número de meses con una temperatura media superior a 10°C
PV	=	Total de precipitación en verano
PW	=	Total de precipitación en invierno
PMHUM	=	Precipitación media mensual límite igual a 6 cm. para los meses húmedos
RAIN	=	CONSTANTE igual a: $10 - PTOT/25$
BK1, BK4	=	Indices, utilizados cuando la precipitación máxima ocurre en invierno
BK2, BK5	=	Indices, utilizados cuando la precipitación es repartida uniformemente.

3. Altitud de la estación, período de registro, etc.
4. Nombre abreviado de los meses y año
5. Precipitación (cm) de los datos mensuales medios y total anual
6. Temperatura (°C) de los datos mensuales medios y media anual
7. Oscilación térmica anual en °C
8. Tipo de clima. Descripción. Fórmula climática
9. Los gráficos de variación anual de la precipitación y temperatura

#### EJEMPLO DE APLICACION

a continuación se presentan 2 ejemplos de la utilización del programa Köppen

#### EJEMPLO 1

Clasificar de acuerdo al Sistema Köppen las estaciones: Calabozo, Venezuela, Las Vegas, Nevada, EE.UU.

Y dibujar los gráficos de variación anual de las variables precipitación y temperatura para cada estación.

Las variables de entrada al programa son:

N = 2

EPLL = CALABOZO, VENEZUELA LAT: 08° 56 N LONG: 67° 20 W

ELPE = ALTITUD: 106 m.s.n.m. PERIODO:

PMEN = 0.1;0.2;0.7;7.1;17.0;18.9;23.3;21.9;18.3;12.9;8.4;1.5;130.3

TMEN = 28.0;28.0;29.0;28.5;27.5;26.5;26.5;27.0;27.0;27.5;28.0;28.0;28.0

EPLL = LAS VEGAS, NEVADA, EE.UU. LAT: 36° 12 N LONG: 115° 10 W

ELPE = ALTITUD: 632 m.s.n.m. PERIODO:

PMEN = 1.7;1.2;0.7;0.7;0.5;0.5;1.2;1.2;0.7;0.7;0.5;1.0;10.6

TMEN = 7.0;10.5;13.0;17.0;21.5;26.5;29.5;29.0;21.5;18.5;12.0;7.5;17.8

En caso de haber más estaciones continuarían escribiéndose los datos como aparecen en la Tabla N° 2.

La salida o resultado del procesamiento del programa se muestra en los gráficos 1 y 2.

## BIBLIOGRAFIA

1. Berry, R.G. y Chorley, R.J., 1972: Atmósfera, Tiempo y Clima, Traducción de Ana M. Guilló, Ediciones Omega, S.A., Barcelona-11, España. 395 p.
2. Berry, B.J. y Marble, D., 1968: Spatial Analysis. A Reader in Statistical Geography. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. Jersey. 512 p.
3. Conrad, V., 1944: Methods in Climatology. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 288 p.
4. De Fina, A.L. y Ravelo, A.C., 1973: Climatología y Fenologías Agrícolas. Editorial Universitaria de Bs. As., 281 p.
5. Germain, C.B., 1969: Programación IBM-360. Traducción del Ing. Mario del Valle. Editorial Diana, S.A., México-12, D.F. 395 p.
6. Goldbrunner, A.W., 1977: El Clima de Venezuela, Curso de Extensión en Meteorología. República de Venezuela, Ministerio de la Defensa, Servicio de Meteorología de las Fuerzas Aéreas Venezolanas. Maracay 16 p.
7. Jansa, J.M., 1969: Curso de Climatología. Publicación Serie B N° 19, Ministerio del Aire, Servicio Meteorológico Nacional de España, Madrid-3. 445 p.
8. Köppen, W., 1948: Climatología. Traducción de P.H. Hendrichs Pérez. México, Bs. As.,
9. Lohnes, P.R. y Cooley, W.W., 1968: Introduction to Statistical Procedures: With Computer Exercises. John Wiley & Sons, Inc., N.Y. 280 p.
10. McCracken, D.D., 1965: Programación Fortran IV. traducción del Dr. Rodolfo L. García. Editorial Limusa-Wiley, S.A. México, D.F. 159 p.
11. Ministerio de Agricultura y Cría, 1965: Agronomía Tropical. revista del Centro de Investigaciones Agronómicas, Vol. XV, Nros. 1-4. Maracay, Venezuela. 244 p.
12. Ponte R., Ricardo R., 1976: Investigación de la variabilidad y distribución de las precipitaciones en la Cuenca de los Ríos Chama y Mocotíes. Edo. Mérida, Venezuela. Trabajo de Ascenso. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Mérida. 49 p.
13. Strahler, A.N., 1974: Geografía Física. Traducción de Ana M. Guilló y José F. Albert. Ediciones Omega, S.A., Barcelona-11, España. 767 p.

GRAFICO 1

CLASIFICACION DE WEATHER

	CALABOZO		VENEZUELA		LAT: 08°56'N		LONG: 67°20'W						
	ALTITUD:												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV.	DIC	ANUAL
PRECIPITACION (CM)	8.1	0.2	0.7	7.1	17.0	18.9	23.2	21.9	18.3	17.9	28.4	1.5	130.3
TEMPERATURA (°C)	28.0	28.0	29.0	28.5	27.5	26.5	26.3	27.0	27.3	27.3	28.0	28.0	28.3
OSCILACION TERMICA ANUAL :	2.5		°C										

TIPO DE CLIMA : TROPICAL DE SABANA, ISOTERMAL (AMI)

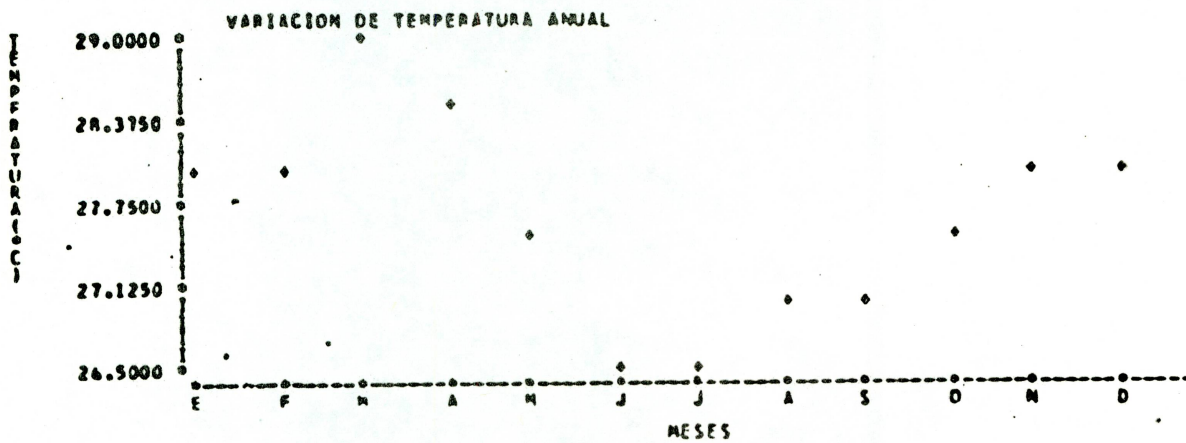
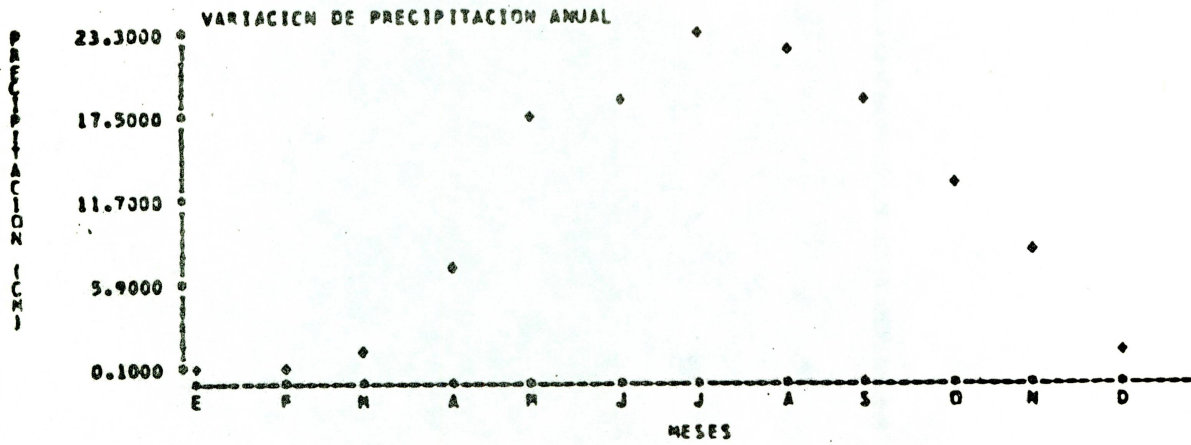
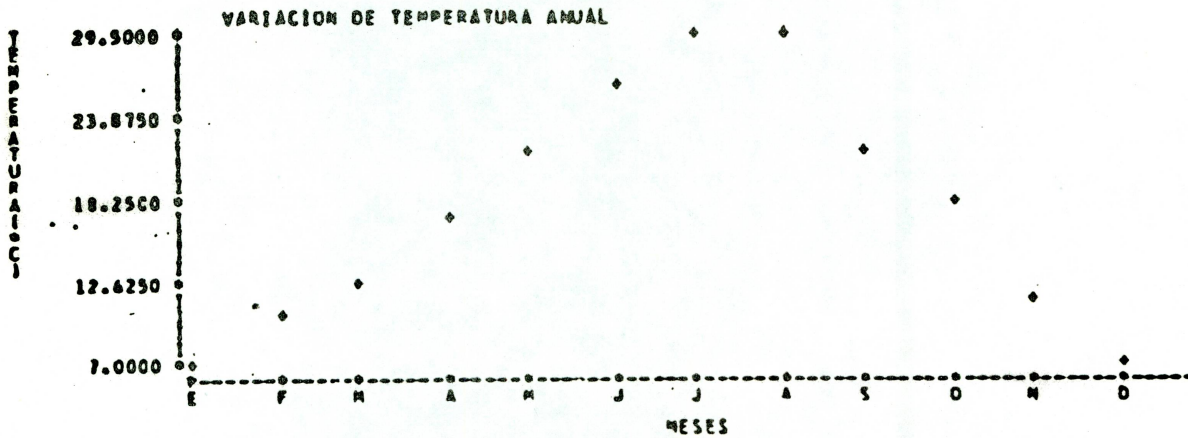
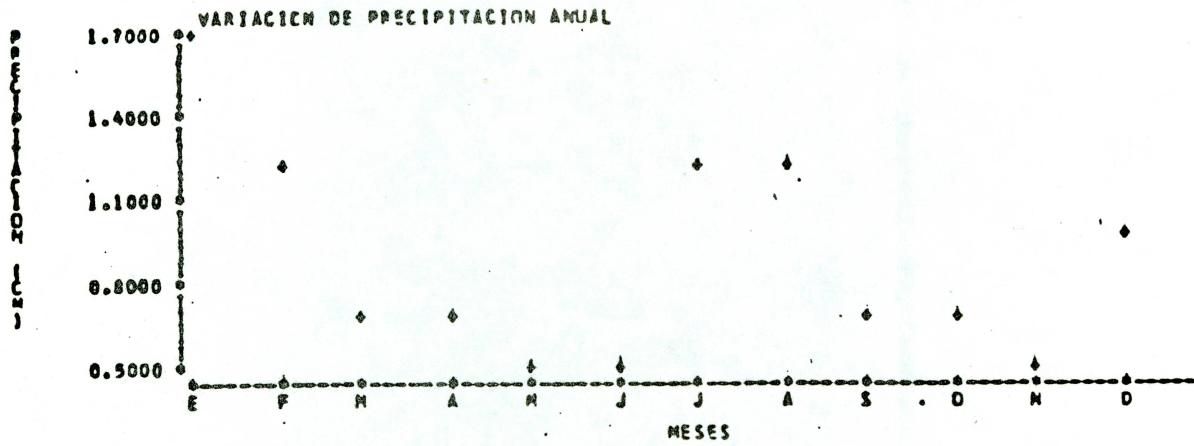


GRAFICO 2

CLASIFICACION DE ESTACIONES

	LAS VEGAS, NEVADA		EE.UU		LATITUD 36°12'N		LONGITUD 115°10'W							
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
PRECIPITACION (CM)	1.7	1.2	0.7	0.7	0.4	0.3	1.2	1.2	0.7	0.7	0.5	1.0	19.4	
TEMPERATURA (°C)	7.0	10.3	13.0	17.0	21.5	26.3	29.3	29.0	21.3	18.3	12.0	7.9	19.0	
OSCILACION TERMICA ANUAL (°C)	22.9													

TIPO DE CLIMA: DESERTICO, FRESCO/DBK



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
 INSTITUTO DE GEOGRAFIA Y CONSERVACION DE RECURSOS NATURALES  
 PROFESOR RICARDO PONTE

```

* ESTE PROGRAMA UTILIZA LA CLASIFICACION CLIMATICA DE KOPPEN
* SOBRE ESTACIONES SELECCIONADAS, CUYOS DATOS DE PRECIPITACION Y
* TEMPERATURA MENSUAL SON CONOCIDOS (PERIODC,ANO).
*****
* LAS VARIABLES Y CONSTANTES UTILIZADAS SON LAS SIGUIENTES :
N=NUMERO DE ESTACIONES A SER ANALIZADAS
* NE=0 CONTADOR PARA CONOCER EL NUMERO DE ESTACIONES ANALIZADAS
EPLL=LEE ESTACION SERIAL, ORGANISMO, PAIS, LATITUD, LONGITUD
ELPE=LEE ALTITUD, PERIODO DE REGISTRO
PMEN=PRECIPITACION MEDIA MENSUAL Y TOTAL MEDIO ANUAL EN CENTIMETRO
TMEN=TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y MEDIA ANUAL EN GRADOS CENTIGRADOS
PTCT=PRECIPITACION TOTAL MEDIA ANUAL EN CENTIMETROS
* PTOT=PMEN(13)
* PMAX =PRECIPITACION MEDIA DEL MES MAS HUMEDO
* PMIN =PRECIPITACION MEDIA DEL MES MAS SECO
* PW=PRECIPITACION TOTAL EN INVIERNO(ENE,FEB,DIC)
* PV=PRECIPITACION TOTAL EN VERANO
* BK1,BK4 =INDICES =CUANDO LA PRECIPITACION MAXIMA OCURRE EN INVIE
1* RNO BK1=2.*TANUAL Y BK4= TANUAL
* BK2,BK5=INDICES=CUANDO LA PRECIPITACION ES REPARTIDA UNIFORMEMEN
1* TE BK2= 2.*TANUAL +14. Y BK5= TANUAL +7.
* BK3,BK6=INDICES=CUANDO LA PRECIPITACION MAXIMA OCURRE EN VERANO
* PMHUM=PRECIPITACION MEDIA MENSUAL LIMITE =60.MM
RAIN=CONSTANTE =10.-PTOT/25.
*SPMEN =VARIABLE AUXILIAR PARA COMBINAR LOS DIF. MESES DE PRECIP.
PMINPV=PRECIPITACION MEDIA MINIMA EN VERANO
PMAXPV=PRECIPITACION MEDIA MAXIMA EN VERANO
PMINPW=PRECIPITACION MEDIA MINIMA EN INVIERNO
PMAXPW=PRECIPITACION MEDIA MAXIMA EN INVIERNO
PMAXPW=RAZON ENTRE LA PREC.MEDIA MAX.DE INV. DIVIDA POR TRES =(PMAXPW/3.)
PMIOPV=RAZON ENTRE LA PREC.MEDIA MAX.DE VER. DIVIDA POR DIEZ =(PMAXPV/10.)
* TMEAN=TEMPERATURA MEDIA ANUAL
* TMEAN=TMEN(13)
* TMAX =TEMPERATURA MEDIA DEL MES MAS CALIDO
* TMIN =TEMPERATURA MEDIA DEL MES MAS FRIO
TMML22= TEMPERATURA MEDIA LIMITE=22*C
TMML18=TEMPERATURA MEDIA LIMITE =18*C
TMML10=TEMPERATURA MEDIA LIMITE =10*C
TMML0 = TEMPERATURA MEDIA LIMITE = 0*C
TMML3 = TEMPERATURA MEDIA LIMITE =-3*C
TMML38= TEMPERATURA MEDIA LIMITE =-38*C
OAT5 = OSCILACION ANUAL DE TEMPERATURA LIMITE = 5*C
* RANGO=OSCILACION TERMICA ANUAL RANGO =TMAX -TMIN
NMIO = CONTADOR PARA CONOCER EL NUMERO DE MESES MAYORES A DIEZ GRADOS
*****

```

```

DATA INDICE/4/,MARCA/2/
DATA INDI/1/,MAR/1/
DATA IMP/6/

```

```

DIMENSION EPLL(20),ELPE(20),PMEN(81),TMEN(81),B(6),SPMEN(12)
DIMENSION XLETRE(72),YLETRE(30),NOMBRE(72),YLETR(30),NOMBR(72)

```

S: SALIDA (OUTPUT).

E: ENTRADA (INPUT).

INTEGER E/5/,S/6/

```

TMML18=18.
OAT5=5.
TMML3=-3.
TMML10=10.
TMML0=0.
PMHUM=6.0
TMML22 =22.
TMML38=-38.

```

```

N=NUMERO DE ESTACIONES A ANALIZAR
READ (E,1)N

```

```

1 FORMAT(I3)
CONTADOR PARA CONOCER EL NUMERO DE ESTACIONES ANALIZADAS

```

```

NE=0
NE = NE+1

```

```

READ(E,9C9) XLETRE

```

```

X1=TMML10
NMM10=0
DC 600 I=1,12
IF(X1-TMEN(I))601,601,600
601 NMM10=NMM10 +1
600 CONTINUE
PTOT=PMEN(13)
PW=PMEN(1)+PMEN(2)+PMEN(12)
PV=PMEN(6)+PMEN(7)+PMEN(8)
RAIN =10.-PTOT/25.
TMEAN=TMEN(13)
B(1)=2.*TMEAN
BK1=B(1)
B(2)=2.*TMEAN +14.
BK2=B(2)
B(3)=2.*TMEAN + 28.
BK3=B(3)
B(4)=TMEAN
BK4=B(4)
B(5)=TMEAN + 7.
BK5=B(5)
B(6)=TMEAN + 14.
BK6=B(6)
IF(PW-PV)11,12,13
12 IF(PTOT-BK2)16,17,18
17 WRITE(S,22)
22 FCRMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA :',2X,'LIMITE ENTRE B-(A,C,D)',//)
IF(NE-N)9,9,7
16 IF(PTOT-BK5)23,24,26
24 WRITE(S,27)
27 FORMAT(1H,13X,'TIPC DE CLIMA :',2X,'LIMITE ENTRE BS - BW ',//)
IF(NE-N)9,9,7
23 IF(TMEAN-TMML18) 33,500,31
500 WRITE(S,510)
510 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA :',2X,'LIMITE ENTRE BWK-BWH',//)
IF(NE-N)9,9,7
33 IF(TMAX-TMML18) 423,425,427
423 WRITE(S,424)
424 FCRMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'DESERTICO,FRIO:', 'BWK*',//)
IF(NE-N)9,9,7
425 WRITE(S,426)
426 FCRMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'LIMITE ENTRE BWK YBWK*',//)
IF(NE-N)9,9,7
427 WRITE(S,428)
428 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'DESERTICO,FRESCO:', 'BWK',//)
IF(NE-N)9,9,7
31 WRITE(S,36)
36 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA :',2X,'DESIERTO (ARIDO),CALIDO:', 'BW
1H',//)
IF(NE-N)9,9,7
26 IF(TMEAN-TMML18)38,41,41
38 IF(TMAX-TMML18)418,417,419
417 WRITE(S,420)
420 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'LIMITE ENTRE BSK Y BSK*',//)
IF(NE-N)9,9,7
418 WRITE(S,421)
421 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'ESTEPA,FRIO :', 'BSK*',//)
IF(NE-N)9,9,7
419 WRITE(S,422)
422 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'ESTEPA,FRESCO:', 'BSK',//)
IF(NE-N)9,9,7
41 WRITE(S,43)
43 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA :',2X,'ESTEPA (SEMIARIDO),CALIDO:', '
1BSH',//)
IF(NE-N)9,9,7
18 IF(TMIN-TMML18)44,46,46
46 IF(PMIN-PMHUM)48,157,47
157 WRITE(S,158)
158 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'LIMITE ENTRE AF-AM',2X,'O',2X,
1'LIMITE ENTRE AF-AW',//)
IF(NE-N)9,9,7
47 IF(RANGO-OAT5)59,59,58
58 WRITE(S,62)
62 FCRMAT(1H,13X,'TIPC DE CLIMA :',2X,'SELVA TROPICAL LLUVIOSA :', 'A
1F',//)
IF(NE-N)9,9,7
59 WRITE(S,61)
61 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA :',2X,'SELVA TROPICAL LLUVIOSA ,ISCT

```

```

469 IF(TMIN.LT.TMML38) GO TO 470
      IF(NE-N)9,9,7
470 WRITE(S,471)
471 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'DE BOSQUE FRIO Y NIVOSO','(MIC
      1RCTERMAL HUMEDO),INVIERNOC SECCY MUY FRIO:',',DWD',//)
      IF(NE-N)9,9,7
151 IF(PMINPV.LT.PMAX3W) GO TO 155
152 IF(PMINPW.LT.PM10PV) GO TO 153
161 IF(TMAX-TMML22)446,446,444
446 IF(NMM10-4)450,700,700
700 WRITE(S,447)
447 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'TEMPLADO LLUVIOSO','(MESOTERMA
      1L HUMEDO),',',VERANO CALIDO:',',CFB',//)
      IF(NE-N)9,9,7
450 WRITE(S,451)
451 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'TEMPLADO LLUVIOSO','(MESOTERMA
      1L HUMEDO),',',VERANO CORTO Y FRESCO:',',CFC',//)
444 WRITE(S,445)
445 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'TEMPLADO LLUVIOSO','(MESOTERMA
      1L HUMEDO),',',VERANO MUY CALIDO:',',CFA',//)
      IF(NE-N)9,9,7
159 IF(TMAX-TMML22)431,433,429
431 WRITE(S,432)
432 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'TEMPLADO LLUVIOSO','(MESOTERMA
      1L HUMEDO),',',VERANO SECO,CALIDO:',',CSB',//)
      IF(NE-N)9,9,7
429 WRITE(S,430)
430 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'TEMPLADO LLUVIOSO','(MESOTERMA
      1L HUMEDO),',',VERANO SECO,MUY CALIDO:',',CSA',//)
      IF(NE-N)9,9,7
433 IF(NMM10-4)434,434,436
434 WRITE(S,485)
435 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'TEMPLADO LLUVIOSO','(MESOTERMA
      1L HUMEDO),',',VERANO CORTO Y FRESCO:',',CSC',//)
      IF(NE-N)9,9,7
153 IF(TMAX-TMML22)436,440,438
436 WRITE(S,437)
437 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'TEMPLADO LLUVIOSO','(MESOTERMA
      1L HUMEDO),',',INVIERNO SECO,VERANO CALIDO:',',CWB',//)
      IF(NE-N)9,9,7
440 IF(NMM10-4)441,441,443
441 WRITE(S,442)
442 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'TEMPLADO LLUVIOSO','(MESOTERMA
      1L HUMEDO),',',INVIERNO SECO,VERANO CORTO Y FRESCO:',',CWC',//)
443 IF(NE-N)9,9,7
438 WRITE(S,439)
439 FORMAT(1H,13X,'TIPO DE CLIMA:',2X,'TEMPLADO LLUVIOSO','(MESOTERMA
      1L HUMEDO),',',INVIERNO SECO,VERANO MUY CALIDO:',',CWA',//)
      IF(NE-N)9,9,7
11 IF(PTOT-BK3) 300,17,18
300 IF(PTOT-BK6) 305,24,307
305 IF(TMEAN-TMML18)33,31,31
307 IF(TMEAN-TMML18)38,41,41
13 IF(PTOT-BK1) 400,17,18
400 IF(PTOT-BK4) 405,24,410
405 IF(TMEAN-TMML18)33,31,31
410 IF(TMEAN-TMML18)38,41,41
9 CALL PLOTEO(PMEN,MARCA,XLETRE,YLETR,NOMBR,INDICE,IMP)
  CALL PLOTEO(PMEN,MAR ,XLETRE,YLETR,NOMBR,INDI ,IMP)
  WRITE(S,91)
91 FORMAT(1H)
  CALL PLOTEO(TMEN,MARCA,XLETRE,YLETR,NOMBRE,INDICE,IMP)
  CALL PLOTEO(TMEN,MAR ,XLETRE,YLETR,NOMBRE,INDI ,IMP)
7 CONTINUE
  IF(NE-N)910,188,188
198 STCP
  ENC

```



# PRIMER ENCUENTRO NACIONAL SOBRE CLIMA, AGUA Y TIERRA

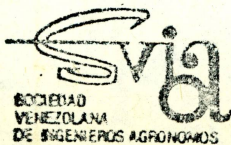
Caracas, 8 al 12 de Noviembre de 1983

## I Jornadas Nacionales de Hidrología, Meteorología y Climatología.

TEMA:       HIDROLOGIA  
              Superficial

TITULO:       CAUDALES LIQUIDOS Y SOLIDOS EN EL RIO ORINOCO  
                  VENEZUELA Y COLOMBIA

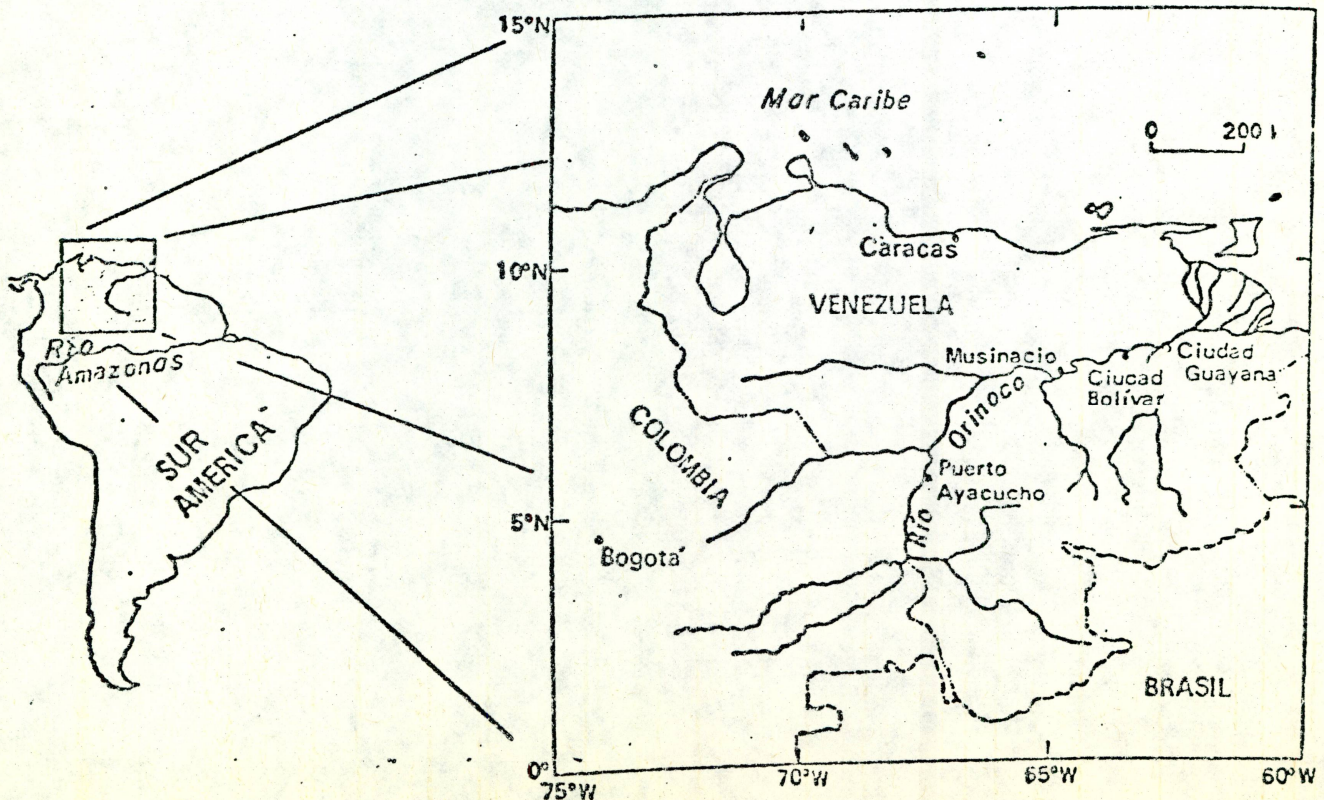
AUTOR:       C. NORDIN, R. MEADE ( USGS )  
                  DAVID PEREZ H., A. MEJIAS ( MARNR )  
                  J. PEREZ G. ( COMPROSA )



## 1. INTRODUCCION

El Orinoco es uno de los ríos más grandes del mundo, su área de drenaje es de aproximadamente  $9 \times 10^5 \text{ Km}^2$  y comprende áreas de Colombia y Venezuela (Figura N° 1). Su caudal medio en la desembocadura de  $36.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  es superado solamente por dos ríos, el Amazonas y el Zaire. El caudal medio sólido en su delta es de aproximadamente  $200 \times 10^6 \text{ t año}^{-1}$  (toneladas por año) y es aproximadamente igual a los de los ríos Mississippi y Magdalena, siendo altamente superado sólo en su caudal sólido por el río Amazonas y otros cuatro ríos del Asia Oriental: Ganges-Brahmaputra, Río Amarillo, Yangtze y el Irrawaddy (Milliman y Meade, 1983).

FIGURA N° 1



Hasta ahora son pocos los estudios de sedimentos que se han hecho sobre el río Orinoco. Key Sánchez (1950), Nemeth y otros (1982), han publicado resultados de mediciones de la concentración de sedimentos en suspensión del río Orinoco en Ciudad Bolívar y Gessner (1965) publicó el resultado de una serie de mediciones para 2 años de la turbiedad en la misma localidad (Ciudad Bolívar) Van Andel (1967), Martín y otros (1976) y Eisma y otros (1978), concentraron su atención principalmente en los sedimentos del delta, aunque Eisma y sus colegas determinaron la composición mineral-arcillosa de algunas muestras de sedimentos tomados del propio río. Tricart (1974) y Tricart y Alfonsi (1981), discutieron el efecto tan marcado del viento sobre el movimiento del sedimento en la cuenca del río Orinoco.

Este es un informe preliminar sobre estudios de sedimentos realizados en el tramo Puerto Ayacucho-Ciudad Guayana de 800 Km de longitud. En este tramo se localizan algunos sitios posibles para la construcción de presas de poca carga hidráulica con fines hidroeléctricos; este también en el tramo más apropiado para la navegación. Presentamos un resumen de datos de caudales líquidos y sólidos que no han sido publicados hasta la fecha, además de las observaciones recientes que hicimos durante 1981 y 1982.

## 2. CONDICIONES DEL LECHO

Aunque el canal del río Orinoco está controlado en muchos sitios por rocas cristalinas precámbricas del Escudo Guayanés, se evidencian

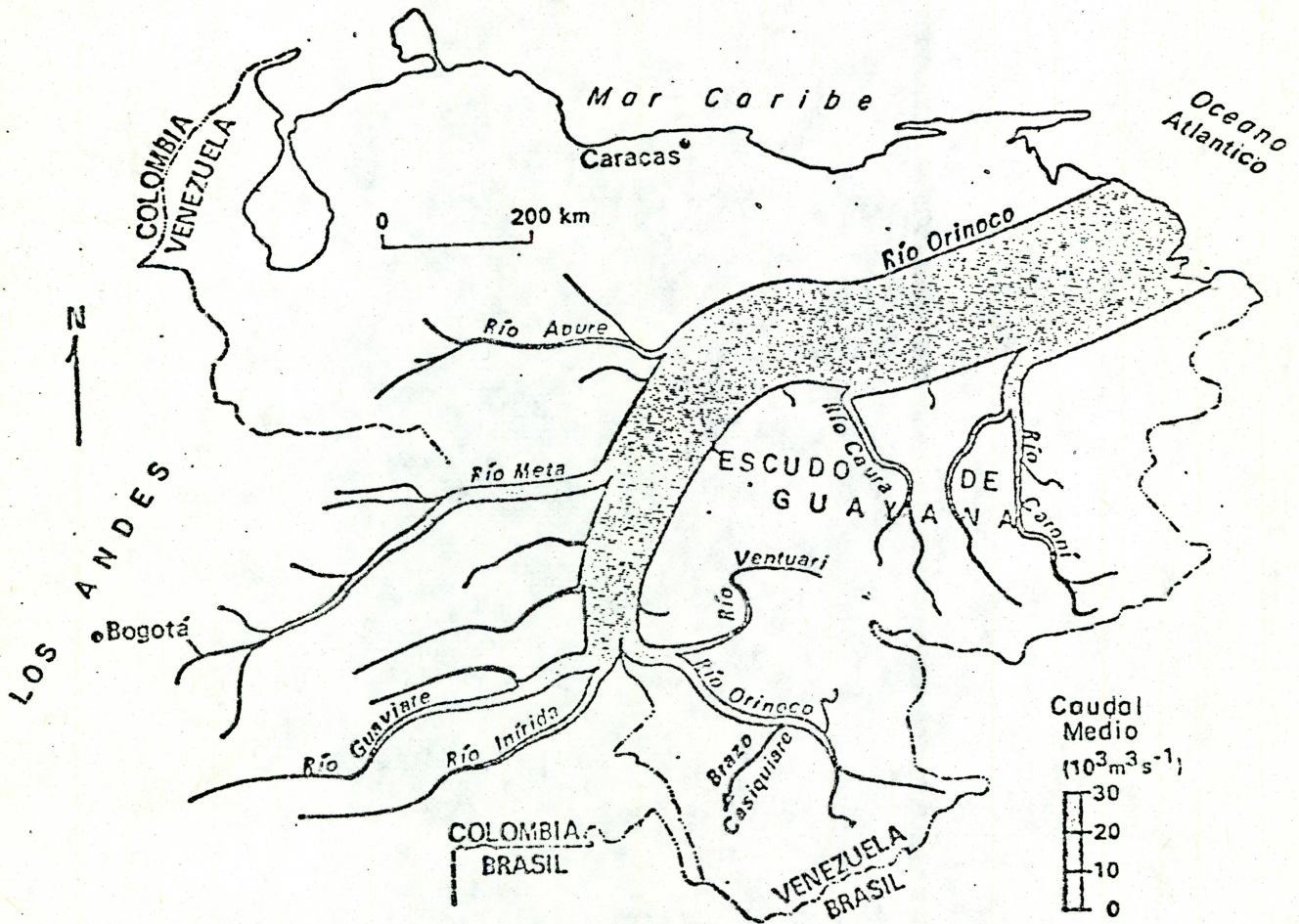
pocos saltos (rápidos) en aguas bajas, y en general, la pendiente es muy uniforme y de 0.00004.

El lecho del río Orinoco está principalmente constituido por arena. Los diámetros medios de la arena están en el orden de los 0.4 mm. Su rango varía entre 0.25 a 0.6 mm y esto es lo general dentro de cortas distancias a lo largo y ancho del canal. Los datos aun no publicados de los tamaños del sedimento de lecho indican que, la arena más fina proviene en su mayoría de los grandes tributarios que drenan los Andes y de los llanos que se encuentran entre los Andes y el Escudo Guayanés y, la arena más gruesa proviene en su mayoría, del Escudo Guayanés. El lecho está mayormente constituido por grandes dunas, de 75-100 mts de largo y 2-3 mts. de altura. El largo transversal de las crestas de estas dunas son bastante más grandes que su longitud de onda ( $> 5\lambda$ ) y las crestas de estas dunas por lo general, se extienden continuamente hacia la mayor parte del ancho del canal.

En casi todo su trayecto el Orinoco corre entre los afloramientos nororientales y noroccidentales del Escudo Guayanés de Venezuela (Figura N° 2). Las aguas tributarias del Escudo Guayanés desembocan al Orinoco por su margen derecha. Las aguas de tributarios que desembocan por la margen izquierda del Orinoco, drenan las montañas andinas de Venezuela y Colombia, como también los llanos que están situados entre los andes y el Escudo Guayanés. Aunque ambos tributarios aportan grandes cantidades de agua, la mayor parte del sedimento del Orinoco es aportado por los tributarios que drenan los andes - más especi

ficamente de los ríos Guaviare, Meta y Apure.

FIGURA N° 2



Caudal líquido medio del Río Orinoco y de sus tributarios. Basado en datos y estimados recopilados por Avellán Vegas y otros (1969) no se consideran los ríos cuyo gasto medio es menor de  $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

La distribución espacial del caudal líquido del Orinoco se muestra en la Figura N° 2. Esta distribución está basada más en datos de precipitación que de mediciones directas de caudales. Los registros de caudal son muy escasos en los ríos Guaviare y Meta, como también los correspondientes a los tributarios que drenan las llanuras de Colombia que están poco pobladas. El Brazo Casiquiare es de gran interés, ya que desvía el 20-25 por ciento del caudal del alto Orinoco al río Negro, el cual es un tributario grande del río Amazonas (Sternberg, 1975, P 40-43.)

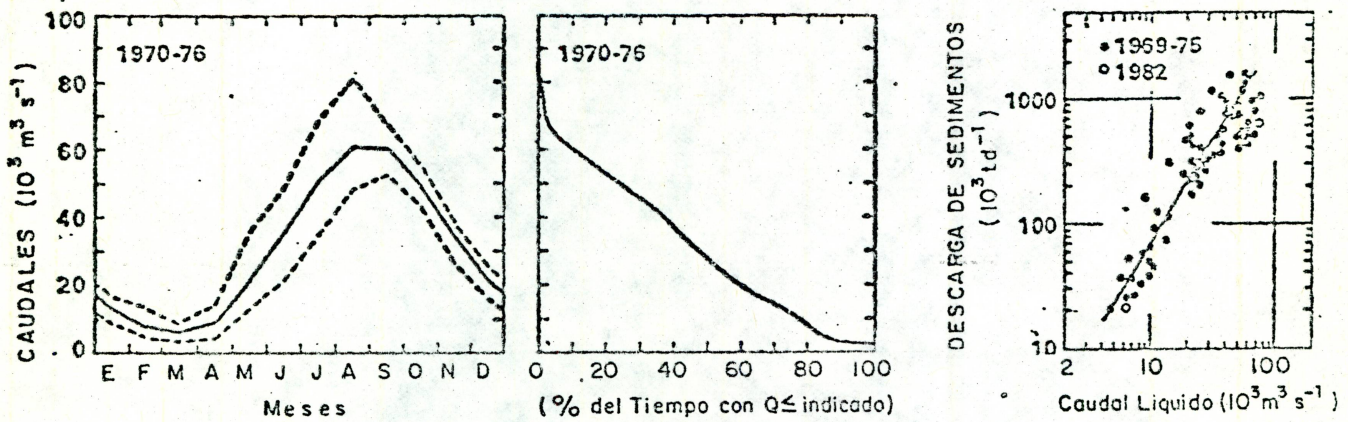
El registro más completo de caudales en el río Orinoco ha sido registrado en Musinacio, situado a 20 Km. aguas abajo de la confluencia con el Río Caura.

El gráfico de la izquierda y del centro en la Figura N° 3 muestran algunas de las características que se han observado de los registros continuos de nivel diario en los años 1970-76 en el Orinoco en Musinacio. En un año promedio, los caudales medios mensuales pueden variar desde un mínimo de  $6.000 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$  en marzo, a un máximo de  $60.000 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$  en agosto.

A lo largo del período de registro de 7 años (1970-1976), los caudales medios mensuales en Musinacio variaron desde  $3.300 \text{ m}^3 \text{ Seg}^{-1}$  en marzo de 1973 a  $81.000 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$  en agosto de 1976. Esto significa que el máximo caudal medio mensual excedió al mínimo caudal medio mensual por un factor de 25. Esto contrasta mucho con el río Amazonas en Brasil, donde los máximos caudales medios mensuales exceden

a los mínimos caudales medios mensuales, por un factor de 3 (Meade y otros 1979 b)

FIGURA N° 3



Caudales líquidos y sólidos en suspensión del río Orinoco en Musinacio, Venezuela. Izquierda; caudales medios mensuales correspondientes al período de 7 años 1970-1976. Los caudales máximos y mínimos mensuales están representados por las líneas punteadas, los caudales medios están representados por la línea continua. Centro, frecuencia de los caudales diarios para el período de siete años 1970-1976. Derecha, relación entre sedimento suspendido y caudal líquido, basado en mediciones y muestreos hechos entre 1969-1975 y en 1982, la curva de sedimentación en el gráfico resultante, está basada en los muestreos de 1969-1975. Las muestras de 1982 fueron tomadas por métodos descritos por Nordin y otros (1983).

El caudal medio mensual del río Orinoco en Musinacio correspondiente al período 1970-1976 fué de  $31.000 \text{ m}^3 \text{ S}^{-1}$ .

Existe una contribución adicional de  $5.300 \text{ m}^3 \text{ S}^{-1}$  aportado por los ríos Caroní, Aro y los otros tributarios que se unen al Orinoco aguas abajo de Musinacio .

Basado en estos datos, el caudal medio del Orinoco correspondiente a un período largo es de aproximadamente  $36.000 \text{ m}^3 \text{ S}^{-1}$  en su delta. Este caudal representa el doble del caudal del río Mississippi, y es excedido solamente por el caudal del Amazonas ( $200.000 \text{ m}^3 \text{ S}^{-1}$ ) y del Zaire ( $44.000 \text{ m}^3 \text{ S}^{-1}$ ).

Mediante unas 60 mediciones de sedimentos, se ha estimado recientemente el caudal sólido en suspensión del río Orinoco en Musinacio durante el período 1969-1975, combinando la curva de sedimentación de la parte derecha de la Figura N° 3, con la curva de frecuencia correspondiente a la gráfica central de la Figura N° 3, determinándose el caudal sólido promedio del río Orinoco. Este es de aproximadamente  $210 \times 10^6$  ton año<sup>-1</sup>.

Sin embargo, la relación entre gasto líquido y sólido en Musinacio es más complejo de lo sugerido en la Figura N° 3.

La concentración del sedimento en suspensión del río Orinoco es mayor en el período de subida que en el período de recesión para un mismo caudal. Esta relación la sugirió Gessner en 1965 después de hacer las correspondientes mediciones de turbiedad en Ciudad Bolívar, y ésta

corresponde a patrones similares cuando aumenta la concentración del sedimento en época de subida de otros ríos, tales como el río Amazonas (Schmidt, 1972) y Mississippi (Robins, 1977, Figura 39-41).

Un análisis más detallado del gasto sólido y líquido que toma en consideración las distintas relaciones durante los períodos de subida y bajada, como también los cálculos basados en el método de Einstein correspondiente a la carga que no ha podido ser medida, arrojan los siguientes valores de gasto sólido en el Musinacio (en  $10^6$  ton año<sup>-1</sup>).

	Carga Lavada	Transporte de lecho más arena suspendida.	Carga Total de gasto sólido
Mínimo	135	25	160
Valor más probable	190	35	225
Máximo	265	40	305

La cantidad de sedimento en Musinacio es probablemente equivalente a la cantidad arrojada al delta, ya que el río Caroní, el cual es el mayor tributario aguas abajo del Musinacio, está represado cerca de su desembocadura por la Represa del Guri, y aporta poco sedimento al Orinoco (Nemeth y otros, 1982) y la Figura N° 4 indica que el gasto sólido no presenta un cambio significativo entre Musinacio y la boca del Río Caroní.

Una cantidad significativa del sedimento que pasa por Musinacio tiene posibilidad de depositarse en el lado interno del Delta del Orinoco

antes de que llegue al Océano Atlántico.

De un estudio detallado de la composición arcillosa, hecha por Eisma y otros (1978), se concluyó que la parte exterior sumergida del Delta, recibe anualmente doble cantidad de sedimento del Amazonas que del propio río Orinoco. Una dilución 2-1 del sedimento del Orinoco proveniente del sedimento aportado por el Amazonas, requerirá que (1) aproximadamente  $400 \times 10^6$  toneladas de sedimento del Amazonas (ó casi la mitad de todo el caudal sólido del Amazonas) sea transportado 1600 Km a lo largo de la costa nor-oriental de Sur América y depositado en la parte externa del Delta del Orinoco cada año o (2) que la mayoría del caudal sólido que pasa por Musinacio, se deposite antes de que llegue a la parte externa del Delta. Sospechamos que este último caso es el más probable. Al Delta del Orinoco se le considera una zona de subsidencia (Royo y Gómez, 1956), donde la depresión existente en la parte interior del Delta, atraparía gran cantidad del sedimento. Estimamos que por lo menos la mitad del sedimento transportado por el río Orinoco hacia la parte interna del Delta, es depositada ahí. Esta es una porción similar a la depositada en el Delta del Río Amarillo y registrada por Long y Xiong (1981).

Otro factor adicional complica la estimación del acarreo de sedimento en la parte baja del río Orinoco. Durante la temporada seca, cuando los niveles del río descienden 12 metros por debajo del nivel correspondiente a la temporada alta, vastas áreas del lecho del río y de su

planicie inundable están expuestos al viento. Ya que la parte Nor-Oriental del Río Orinoco está en la latitud donde los vientos alisios soplan constantemente de este a oeste, y que los alisios alcanzan su máxima velocidad en la temporada seca, grandes cantidades del material expuesto del lecho del río son retransportados en dirección aguas arriba. Mu-  
cha de esta arena aparentemente se acumula en las dunas que cubren 20.000 Km<sup>2</sup> de los llanos orientales adyacentes a la parte baja del Río Meta (Tricart, 1974). De Sola (1982) ha estimado que los vientos pueden reciclar en dirección aguas arriba, más de  $60 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de sedimen-  
tosa lo largo de un año.

3. SECUENCIAS DE CAUDALES, ALMACENAMIENTO DE AGUA Y SEDI-  
MENTOS EN DIRECCION AGUAS ABAJO.

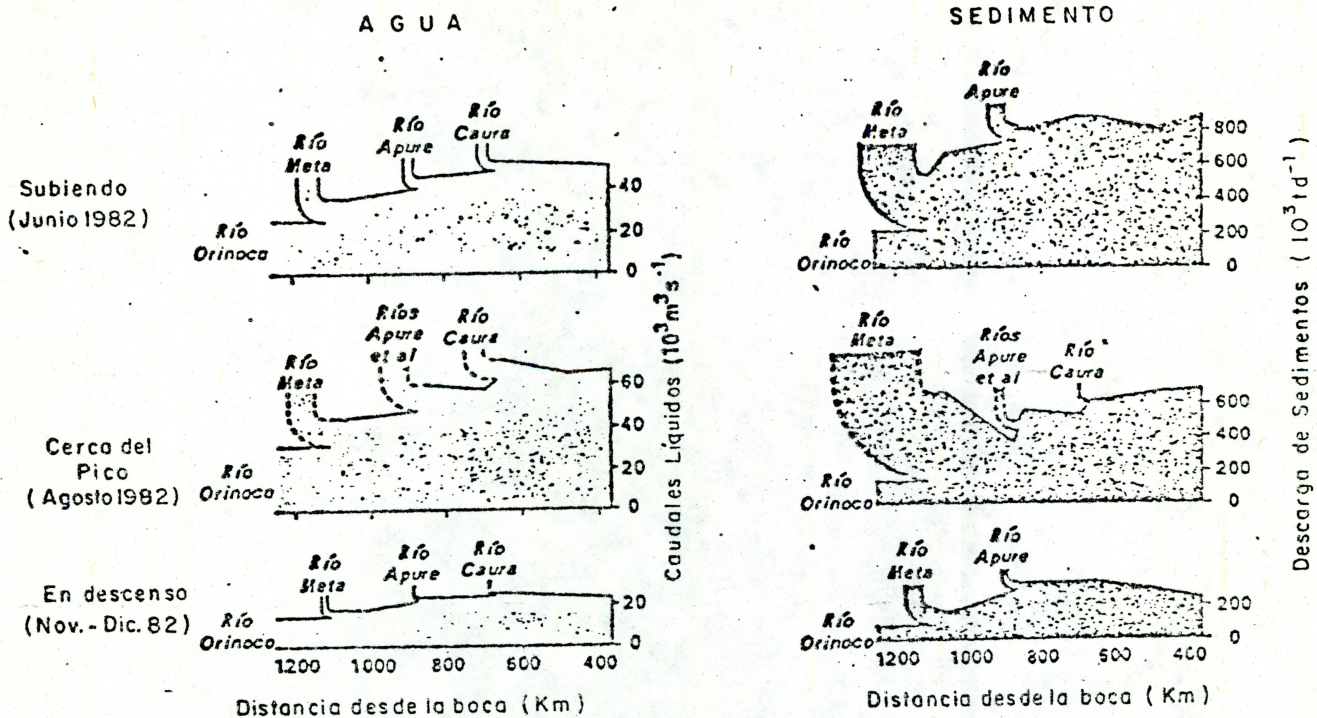
Los patrones de los caudales líquidos y sólidos correspondientes a los períodos de ascenso, casi en el pico y de bajada del río Orinoco y alguno de sus principales tributarios, se muestran en la Figura N° 4. El caudal líquido columna izquierda, Figura 4, muestra generalmente un incremento constante en dirección aguas abajo. Las excepciones más no-  
torias a este incremento del caudal aguas abajo, se registraron a un tiempo que precede el caudal pico, a distancias de 850-700 Km y 650-500 Km aguas arriba de la desembocadura, el caudal aparentemente decrecía en dirección aguas abajo.

Durante este período (Agosto 1982), el río estaba desbordado y la pérdida aparente de caudal en el canal principal, muestra la cantidad de

agua que se almacena en las planicies de inundación.

Se muestra también en la columna de la derecha de la Figura 4, el acarreo de sedimento correspondiente a los mismos períodos. Es de hacer notar, que en el bajo Orinoco (distancia de 1000-400 Km), se registró un mayor aporte de sedimentos durante el período de ascenso en el mes de Junio, que en el período cerca al pico correspondiente al mes de agosto. Este es un reflejo del incremento en la concentración de sedimentos durante el período de subida, que ya se discutió previamente.

FIGURA N° 4



Caudal líquido y sólido a lo largo de un tramo de 800 Km de longitud del río Orinoco y en algunos de sus principales tributarios durante la época de subida (15-25 junio), cerca al pico (15-23 agosto) y período de recesión (18 noviembre - 6 diciembre) correspondientes al año 1982. Las mediciones de los caudales líquidos y sólidos se hicieron, cumpliendo una secuencia progresiva a lo largo del tramo, durante los períodos antes mencionados. El caudal sólido obtenido provino de la integración de muestras de sedimento tomadas a varias profundidades en cada progresiva a lo ancho del canal - cuyo intervalo de espaciamiento entre cada progresiva era de 7-10 mts (Este método es descrito por Nordin y otros 1983). En algunas confluencias de ríos, la suma de los caudales sólidos en los tributarios, más el caudal sólido del canal principal aguas arriba del tributario, era bastante mayor o menor que el sedimento medido en el canal principal aguas abajo del tributario (Ej. La Confluencia Orinoco-Meta en Junio y Noviembre-Diciembre. Las líneas interrumpidas se usaron cuando no se midió directamente el caudal líquido y sólido de los tributarios, sino que se estimó por: (1) la diferencia entre las mediciones en el canal principal tomadas aguas arriba y aguas abajo del tributario, (2), De datos anteriores de caudales durante el período cerca al pico, combinado con (3) muestreo incompleto de la concentración de sedimentos en suspensión correspondientes a los tributarios.

La característica más sobresaliente de la secuencia aguas abajo de la descarga de sedimento, es la disminución de la velocidad de transporte de sedimento durante los picos (gráfico del medio, columna derecha, Figura 4) a una distancia de 1000 Km a 900 Km aguas arriba de la desembocadura del Orinoco. Interpretamos este decrecimiento como evidencia de que el sedimento se deposita y se almacena en el río Orinoco entre las desembocaduras de los ríos Meta y Apure. Cuando el río está alto, este tramo del río Orinoco, se desborda para formar una laguna llana que incluye los tramos bajos de los ríos Capanaparo, Arauca y Apure, así como también las llanuras inundables.

Quizás la mitad del sedimento que aporta el río Meta al río Orinoco durante la época de niveles altos se deposita y se almacena en este tramo del Orinoco. De datos sacados de otras gráficas deducimos que, durante etapas sucesivas de descenso del nivel de agua y durante la primera parte de la próxima etapa de creciente, este tramo del canal principal aporta sedimentos previamente almacenados y que ahora es transportado aguas abajo. En el río Amazonas se han identificado tramos de igual comportamiento, donde el sedimento almacenado durante algunas temporadas es re-movilizado durante otras temporadas del año (Meade y otros, 1979 a, p. 482).

#### 4. MEZCLA DE SEDIMENTO SUSPENDIDO AGUAS ABAJO

Las aguas de los tributarios no se mezclan con el agua del canal principal del río Orinoco, sino después de muchos kilómetros aguas aba

jo del lugar de confluencia. Esto se comprueba con unas muestras de concentración de sedimento en suspensión tomadas a varias profundidades y en ocho secciones distintas a lo largo del Orinoco, durante la temporada cerca al pico a mediados de agosto de 1982. En la Figura N° 5, se muestran las concentraciones de limo y arcilla en suspensión separadamente de las concentraciones de arena en suspensión. La concentración de arena representa (hasta cierto punto) las condiciones hidrodinámicas locales, y las concentraciones de limo y arcilla en suspensión indican claramente, las fuentes de origen de sedimento y la eficacia de la mezcla aguas abajo del río.

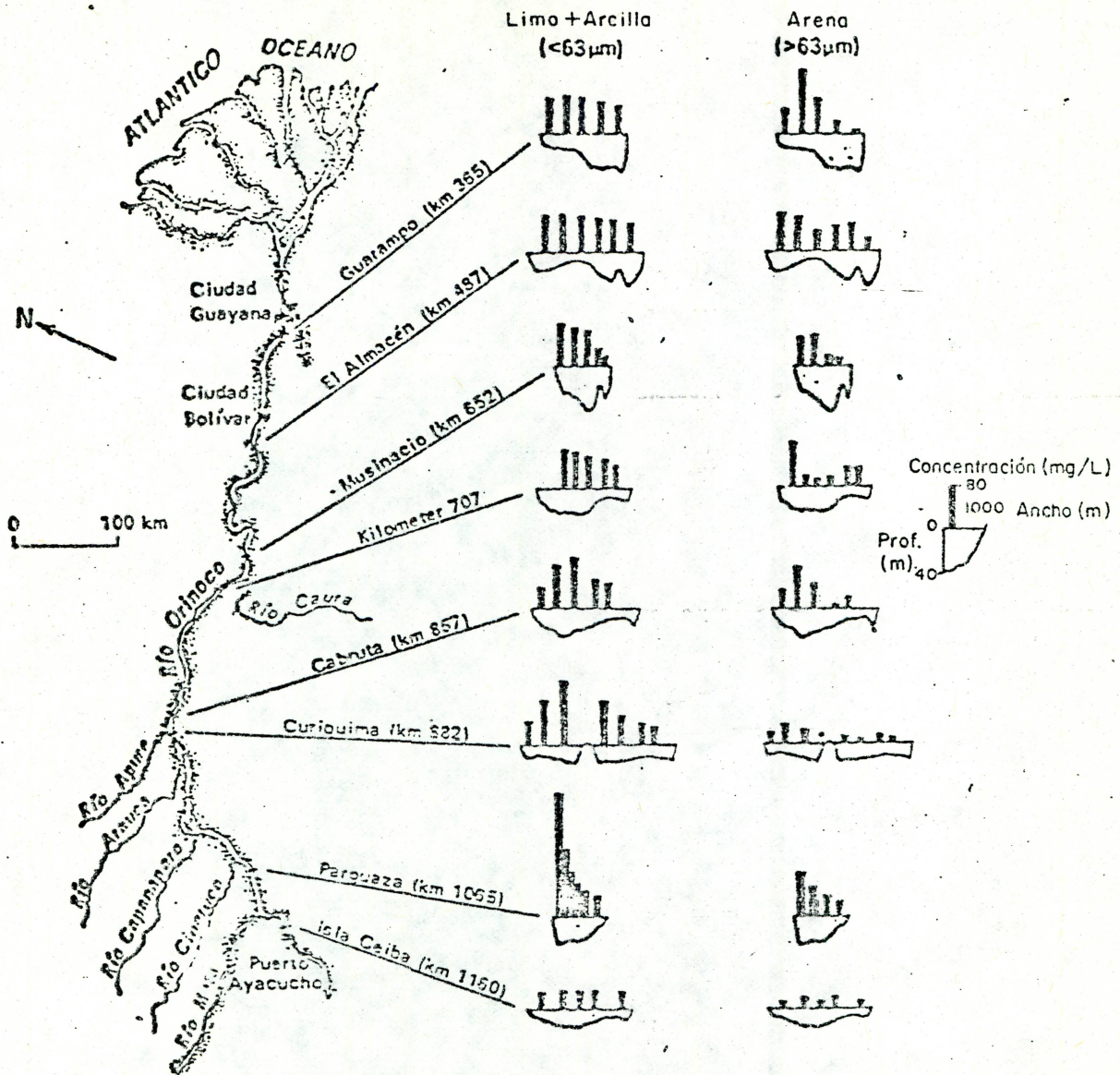
En el lugar del estudio, aguas arriba del tramo de Cabruta, las concentraciones de limo y arcilla en suspensión, están dominadas por el sedimento aportado por el río Meta. En Isla Ceiba, situada en el canal principal del Orinoco 40 Km aguas arriba de la desembocadura del río Meta, las concentraciones de limo y arcilla en suspensión son bajas y uniformemente distribuidas a lo ancho del canal.

En Parguaza, a 40 Km aguas abajo de la desembocadura del río Meta, los sedimentos en suspensión transportados por el Meta, se mezclan muy poco a lo ancho del canal principal del Orinoco; las concentraciones de limo y arcilla cerca de la margen izquierda son 5 veces mayores que aquellas en la margen derecha. A 160 Kms aguas abajo, en Curiquima, justamente aguas arriba de la desembocadura del río Apure, las altas concentraciones de limo y arcilla aportadas por el Meta son todavía

evidentes. Sin embargo, en esta localidad, el limo y arcilla ocurren cerca del medio del canal ya que se han diluido con las aguas de menos concentraciones de los ríos Cinaruco, Capanaparo y Arauca, los cuales entran al Orinoco por su margen izquierda.

En Cabruta, justo aguas abajo de la desembocadura del río Apure, las máximas concentraciones están todavía en la mitad del canal, los tramos bajos del río Apure (como los de los ríos Capanaparo y Arauca) están represados debido al efecto de remanso de las aguas del Orinoco, y por consiguiente su aporte de sedimento no es significativo.

FIGURA N° 5



Variaciones transversales de la concentración de sedimento en suspensión, las muestras se tomaron en ciertos lugares a lo largo de la sección transversal del canal principal y a distintas profundidades. Las muestras se tomaron en secuencia en dirección aguas abajo entre el 15 y 25 de agosto de 1982 período de máximo caudal, se muestra las concentraciones de limo y arcilla en suspensión separadamente de la concentración de arena en suspensión, la concentración está expresada en miligramos por litro (mg/l). Se define la arena como aquel material más grueso que  $63 \mu\text{m}$  (micrones) y el limo y arcilla como aquel material más fino que  $63 \mu\text{m}$ . La distancias del Thalweg del río aguas arriba del punto cero cerca de la desembocadura, se han expresado en kilómetros.

En el tramo estudiado aguas abajo de Cabruta, las concentraciones de limo y arcilla en suspensión continuaban siendo mayores cerca de la margen izquierda. Las diferencias a lo largo de la sección transversal se evidenciaron a la altura del Km 707, mas arriba de la confluencia con el río Caura, y se realza en Musinacio debido al aporte de las aguas más limpias del Río Caura. Justo aguas abajo de Musinacio, el río fluye por el único meandro desarrollado a plenitud, lo cual junto con el tramo donde se produce la constracción de la sección en un tramo rocoso con flujo turbulento (El Infierno), situado en el extremo superior del meandro, permite la mezcla intensa del sedimento en suspensión a lo ancho del canal. La distribución transversal del limo y arcilla en suspensión se va haciendo uniforme aguas abajo (El Almacen y Guarampo), aunque las concentraciones siguen siendo levemente mayores cerca de la margen izquierda.

Las concentraciones de arena suspendida en el tramo estudiado durante el mes de agosto de 1982 se muestra también en la Figura N° 5. En la mayoría de las secciones transversales aguas abajo de la confluencia con el río Meta las concentraciones de arena, limo y arcilla tienden a incrementarse del lado izquierdo del canal. Sinembargo, esta marcada tendencia se suaviza parcialmente por los efectos hidrodinámicos locales. En Guarampo, por ejemplo, la mayor concentración de arena en suspensión en la sección transversal, se encuentra cerca del borde exterior de una barra de punta.

De los datos demostrados en la Figura N°5, concluimos que los sedimentos de los tributarios lateralmente no se mezclan hasta haber recorrido una distancia de 200 Kms medidos desde la desembocadura y a lo largo del canal principal. Estas marcadas diferencias en la distribución transversal de sedimentos en suspensión, que también ha sido observada en el río Amazonas (Meade y Otros, 1979a, P. 480), imponen un conjunto estricto de normas para el procedimiento de muestreo del sedimento, tales como aquellos descritos en el informe de Nordin y Otros (1983).

#### 5. AGRADECIMIENTO

Omar Alvarado, Luis Bravo, C. Cranston, W.F. Curtis y Sarkis Farchakh, ayudaron a recolectar los datos señalados en las Figuras Números 4 y 5.

Middelburg, G.P. Williams, W.W. Emmett y D.E. Hillier leyeron el Manuscrito y sugirieron mejoramientos. La Ing. Alida Pineda de Kavan tradujo al español el informe de su versión original en Inglés.

## 6. REFERENCIAS

- AVELLAN VEGAS, FRANCISCO, PORRAS GONZALEZ, PEDRO, RIVERO PANTOJA, GRACIELA, CHACON MENDOZA, FRADIQUE, 1969, Inventario Nacional de Aguas Superficiales: (Venezuela) Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH), v. 1, 127 p., v. 2, 14 pl.
- DE SOLA, OSWALDO, 1982, Caracterización Geológica del Río Orinoco, Tramo Cabruta-Ciudad Bolívar (abs), in Seminario, Estudios para el Aprovechamiento del Eje Fluvial Orinoco-Apure: (Venezuela) Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Dirección General Sectorial de Planificación y Ordenación, p. 23-28.
- EISMA, D., VAN DER GAAST, S.J., MARTIN, J.M., and THOMAS, A.J., 1978, Suspended Matter and Bottom Deposits of the Orinoco Delta: Turbidity, Mineralogy and Elementary Composition: Netherlands Journal of Sea Research, v. 12, no. 2, p. 224-251.
- GESSNER, FRITZ, 1965, Zur Limnologie des unteren Orinoco: International Revue gesamt. Hydrobiologie, v. 50, no. 3, p. 305-333.
- KEY SANCHEZ, F., 1950, Algunas consideraciones con respecto a la determinación del acarreo sólido y su magnitud en algunos ríos de Venezuela: Revista Colegio de Ingeniería de Venezuela, v. 177, p. 28-29.
- LONG, Y.-Q., and XIONG, G.-S., 1981, Sediment measurement in the Yellow River, in Erosion and sediment transport measurement: International Association of Hydrological Sciences Publication 133, p. 275-285.
- MARTIN, J.M., THOMAS, ALAIN, PEREZ-NIETO, HERNAN, 1976, Application des mesures de radioactivité naturelle a l'étude de la dynamique sédimentaire dans le delta de l'Orénoque: Conference Geologie Caraïbes, 7th, Guadeloupe 1974, Publication, p. 555-565.
- MEADE, R.H., NORDIN, C.F., Jr., and Curtis, W.F., 1979a, Sediment in Río Amazonas and some of its principal tributaries during the high-water seasons of 1976 and 1977: Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, Simposio Brasileiro de Hidrologia, 3rd, Anais, V. 2, p.472-485.

MEADE, R.H., NORDIN, C.F., Jr., CURTIS, W.F., COSTA RODRIGUEZ, F.M., DO VALE, C.M., and EDMOND, J.M., 1979b, Sediment loads in the Amazon River: Nature, v. 278, p. 161-163.

MILLIMAN, J.D., and MEADE, R.H., 1983, World-wide delivery of river sediment to the oceans: Journal of Geology, v. 91, no. 1, p. 1-21.

NEMETH, A., PAOLINI, J., and HERRERA, R., 1982, Carbon transport in the Orinoco River, in Degens, E.T., editor, Transport of carbon and minerals in major world rivers, Part 1: Universitat Hamburg Geologisch-Palaontologisch Institut Mitteilungen, v. 52, p. 357-364.

NORDIN, C.F., JR., CRANSTON, C.C., MEJIA-B., ABEL, 1983, New technology for measuring water and sediment discharge of large rivers: Chinese Society of Hydraulic Engineering, International Symposium on River Sedimentation, 2nd, Nanjing, 1983, Proceedings.

ROBBINS, L.G., 1977, Suspended sediment and bed material studies in the lower Mississippi River: U.S. Army Engineer District, Vicksburg, Potamology Investigations Report 300-1, 29 p. plus 17 tables, 6 p., 69 figs., 12 photos.

ROYO Y GOMEZ, JOSE, 1956, Quaternary in Venezuela, in Stratigraphical lexicon of Venezuela (English edition): Venezuela Ministerio de Minas e Hidrocarburos Boletín de Geología Special Publication no. 1, p. 468-478.

SCHMIDT, G.W., 1972, Amounts of suspended solids and dissolved substances in the middle reaches of the Amazon over the course of one year (August, 1969-July, 1970): Amazoniana, v.3, no. 2, p. 208-223.

STERNBERG, H.O., 1975, The Amazon River of Brazil: Geographische Zeitschrift, Beihefte, v. 40, 74 p.

TRICART, J., 1974, Existence de periodes seches au Quaternaire en Amazonie et dans les regions voisines: Revue de Geomorphologie Dynamique, v. 23, p. 145-158.

TRICART, J.L. F., and Alfonsi, P.P., 1981, Actions eoliennes recentes aux abords du delta de l'Orenoque: Bulletin de l'Association de Geographes Francais, no. 476, p. 75-82.

VAN ANDEL, T.J. H., 1967, The Orinoco Delta: Journal of Sedimentary Petrology, v. 37, nos. 2, p. 297-310.