

Hid 359
Eg. 2



**Ministerio del Ambiente
y de los Recursos
Naturales Renovables**

**CARACTERISTICAS
HIDROFISICAS Y
CONSERVACION DE LOS
RECURSOS NATURALES
RENOVABLES EN LA
CUENCA DE UNARE
VENEZUELA**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA**

Caracas, Junio 80

Serie Informes Técnicos DGIHA / IT/64



MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES.
Dirección General de Información e Investigación del Ambiente.

Dirección de Hidrología.

MARNK

22

CARACTERISTICAS HIDROFISICAS Y CONSERVACION DE LOS RECURSOS
NATURALES RENOVABLES EN LA CUENCA DE UNARE - VENEZUELA.

Ing. David Pérez Hernández.

Caracas, junio de 1980.
Serie Informes Técnicos DGIIA/IT/64.

C O N T E N I D O

No.		Página
	GRAFICOS	v
	MAPAS	viii
	TABLAS	ix
	CROQUIS:.....	x
	TERMINOS Y CONCEPTOS	xi
1.	INTRODUCCION	
1.1	LA CUENCA - GENERALIDADES	2
1.2	GEOLOGIA GENERAL	4
1.3	COBERTURA VEGETAL	6
1.4	EFFECTOS DE LAS QUEMAS	9
1.5	CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA FAUNA SILVESTRE Y SU PRESERVACION	12
1.6	LOS EMBALSES Y LA FAUNA ACUIDULCE	13
1.7	ACTIVIDAD HUMANA-RELACION CON LA EROSION	14
1.8	SUB-CUENCA DE TAMANACO-FACTORES DE ERODABILIDAD Y MEDIDAS DE CONTROL	16
2.	EL RELIEVE, LOS SUELOS Y LA MORFOLOGIA DE LOS CANALES	
2.1	PATRONES DE DRENAJE	25
2.2	PAISAJE ONDULADO. DESARROLLO Y EVOLUCION	31
2.3	CONTENIDO DE HUMEDAD Y TERMICIDAD EN LOS SUELOS...	35
2.4	EVOLUCION GEOLOGICA Y PEDOGENESIS	37
2.5	EFFECTOS DEBIDOS A CAPILARIDAD EN LOS SUELOS	39
2.6	SECCIONES TRANSVERSALES EN LOS CANALES	42
2.7	PERFILES LONGITUDINALES DE LOS CAUCES	45
2.8	RELACION AREAS DRENADAS VS LONGITUDES DE LOS CANA- LES.....	49
2.9	RELACION ENTRE LAS AREAS DE DRENAJE, LAS LONGITUDES DE LOS CANALES Y EL CAUDAL MEDIO DE AVENIDAS	52
2.10	DISTRIBUCION DE LOS DEPOSITOS SOLIDOS EN LAS PLANICIES FLUVIALES	54

Cont...

No.		Página
2.11	DESARROLLO Y EVOLUCION DE LAS PLANICIES FLUVIALES	59
3.	FACTORES DE ERODABILIDAD Y MEDIDAS DE CONTROL EN LOS CANALES	
3.1	LOS CANALES NATURALES COMO FUENTES DE SUMINISTRO SOLIDO	66
3.2	EROSION EN LA SUBCUENCA DE TAMANACO	67
3.3	RESISTENCIA A LA EROSION DE LOS SUELOS	70
3.4	EROSION AGUAS ABAJO DE LAS PRESAS. AGRADACION DE LOS LECHOS	71
3.5	CAPTACION DEL AGUA DESDE LOS CANALES	72
3.6	USO DE LAS PLANICIES INUNDABLES	74
3.7	ALMACENAMIENTO Y FLUJO SUB-ALVEO A TRAVES DE LOS ALUVIONES	77
4.	HIDROLOGIA Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	
4.1	DATOS E INFORMACION DISPONIBLE	79
4.2	PLUVIOSIDAD	80
4.3	DESARROLLO DE TORMENTAS	87
4.4	NIEBLAS	90
4.5	CARACTERISTICAS DE LOS SEDIMENTOS	91
4.6	APORTES SOLIDOS TOTALES DE LA CUENCA	
4.6.1	RIO UNARE	94
4.6.2	RIO TAMANACO	99
4.6.3	RIO ARAGUA	101
4.7	COMPARACION DE LAS CURVAS DE SEDIMENTACION. SUB- CUENCAS DEL RIO UNARE	103
4.8	CORRELACION ACARREOS-ESCURRIMIENTOS. DATOS DE SUB- CUENCAS	108
4.9	INDICES REGIONALES DE PRODUCCION DE SEDIMENTOS	110

Cont...

No.		Página
5.	SISTEMAS DE EMBALSES	
5.1	EMBALSES EN LOS CANALES PRINCIPALES VS EMBALSES EN LOS TRAMOS SUPERIORES	112
5.2	ACTIVIDAD BIOLOGICA. FACTORES REGULADORES	115
5.3	EMBALSES EN LA SUBCUENCA DE TAMANACO	117
5.4	EMBALSE DE PLAYA DE PIEDRA. USO Y PRESERVACION DE OTROS	117
5.5	EMBALSE JABILLAL	119
5.6	DEFORESTACION DE LOS VASOS	123
5.7	PERDIDAS DE AGUA EN LOS EMBALSES	124
5.8	LAGUNAS, ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO	125
5.9	CRITERIOS PARA LA OPERACION Y MANEJO DE LOS EMBAL- SES	128
5.10	ESTRUCTURAS DE ALIVIO Y SUPERVISION DE LOS EMBALSES...	130
5.11	SEDIMENTACION EN LOS EMBALSES. ASPECTOS GENERALES	135
5.12	CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS EMBALSES. USOS MUL- TIPLES Y CLASIFICACIONES	139
6.	HIDROQUIMICA Y MANEJO DEL RECURSO HIDRICO	
6.1	SUMINISTRO A POBLACIONES Y USO INDUSTRIAL.....	144
6.2	RIEGO.....	145
6.3	PRESERVACION DEL AMBIENTE HIDRO-ECOLOGICO. LAGUNAS DE UNARE-PIRITU	148
6.4	CLASIFICACION Y PROPIEDADES DE LAS AGUAS SUPERFICIALES	150
6.5	CLASIFICACION Y PROPIEDADES DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	153
6.6	CONSTITUYENTES NOTABLES EN LOS SUELOS Y AGUAS.....	156
	APENDICE A	
A.1	PROGRAMA DE COMPUTACION SEDEM	158
A.2	ESTRUCTURA DEL PROGRAMA	158
A.3	BLOQUE TRAP	158
A.4	BLOQUE APRA	161

.../...

Cont...

No.	Página
A.5 BLOQUE DIST.	162
APENDICE B	
B. ESTRUCTURA DE UN MODELO OPERACIONAL PARA EL MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES	171
REFERENCIAS.....	182

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

G R A F I C O S

No.		Página
1	PRODUCTIVIDAD DE BIOMASA PARA DIFERENTES GRAMINEAS.....	11
2	HUMEDAD Y TERMICIDAD DE LOS SUELOS. CUENCA UNARE.	36
3	CONFIGURACION DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES EN DIVERSOS CANALES DE LA CUENCA DEL RIO UNARE.....	41
4	PERFILES LONGITUDINALES DE LOS CAUCES LAYA Y EL PESCA- DO.....	46
5	PERFILES LONGITUDINALES NORMALES Y ADIMENSIONALES PARA DIFERENTES TRIBUTARIOS DEL RIO UNARE.....	48
6	RELACION ENTRE LA LONGITUD DE LOS CANALES Y LAS AREAS DE DRENAJE.....	50
7	VARIACION DEL CAUDAL MEDIO DE CRECIENTES CON LAS AREAS DRENADAS (Km ²). SUB-CUENCAS DEL UNARE. VENE- ZUELA CENTRAL.....	53
8	SECCIONES TRANSVERSALES EN LOS SITIOS DE PRESA INDICA- DOS. (DEPOSITOS DE PLANICIES).....	55
9	MAXIMAS INTENSIDADES DE LLUVIAS (mm) CON UNA HORA DE DURACION.....	85
10	DISTRIBUCION MENSUAL DE LA PRECIPITACION EN LAS ESTA- CIONES INDICADAS.....	85
11	CURVAS DE INTENSIDAD-FRECUENCIA-DURACION DE LAS LLU- VIAS EN LA ESTACION EL SOCORRO (EDO. GUARICO) PERIODO 1967-1977.....	90
12	DISTRIBUCION ESPACIAL DE UNA TORMENTA EN EL GUARICO CENTRAL CON INDICACION DEL VOLUMEN PRECIPITABLE 03-07-79 - DURACION: 12 HORAS.....	89
13	MUESTRAS TIPICAS DE SEDIMENTOS RIOS TAMANACO, QDA. HONDA E IPIRE.....	92
14	DIAGRAMAS DE BARRAS, RIO TAMANACO EN SAN ANTONIO DE TAMANACO, ESCURRIMIENTO, TRANSPORTES SOLIDOS Y CON- CENTRACIONES.....	100
15	TRANSPORTE SOLIDO ANUAL. RIO UNARE EN PUENTE UNARE...	98

Cont... GRAFICOS

No.		Página
16	RIO UNARE EN CLARINES. CONCENTRACIONES-ACARREOS-ESCURRIMIENTOS. AREA 22.450 Km ²	95
17	DIAGRAMA DE BARRAS ESCURRIMIENTO-TRANSPORTE DEL RIO UNARE EN CLARINES. PERIODO 1964-1975.....	95
18	RELACION TRANSPORTE ESCORRENTIA. RIO ARAGUA EN LA MADERA.....	102
19	CURVAS DE SEDIMENTACION. RIOS DE LA REGION CENTRAL CUENCA DEL UNARE.....	104
20	CURVAS DE SEDIMENTACION. RIO DEL BORDE NOR-OCCIDENTAL. CUENCA DEL UNARE.....	106
21	CURVA DE SEDIMENTACION. RIO ARAGUA EN LA MADERA. AÑO 1970.....	107
22	RELACIONES ESCORRENTIA-TRANSPORTE. RIO TAMANACO Y QUEBRADA LAS RAICES.....	109
23	RIO TAMANACO EN SAN ANTONIO DE TAMANACO. AREA 498 Km ²	109
24	CURVAS TIPICAS DE ELEVACIONES-CAPACIDADES EMBALSES DE LA CUENCA DE UNARE. (PEQUEÑOS EMBALSES).....	140
25	CURVAS TIPICAS DE ELEVACIONES-CAPACIDADES EMBALSES DE LA CUENCA DE UNARE. (GRANDES EMBALSES).....	141
26	MORFOLOGIA SUPERFICIAL Y CURVAS DE AREAS-CAPACIDADES DEL EMBALSE EL CIGARRON - ESTADO GUARICO	142
27	MORFOLOGIA SUPERFICIAL Y CURVAS DE AREAS-CAPACIDADES DEL EMBALSE LA ESTANCIA - ESTADO ANZOATEGUI	143
28	COMPONENTES DEL FLUJO DE RETORNO EN UN SISTEMA DE RIEGO, MODIFICADO DE ELDRIDGE	147
29	DIAGRAMA DE PIPER CLASIFICACION DE AGUAS SUPERFICIALES	152
30	DIAGRAMA DE PIPER CLASIFICACION DE AGUAS SUBTERRANEAS	154
31	CURVAS DE FRECUENCIA DE DISTRIBUCION DE Cl^- , SO_4^{2-} y Fe EN POZOS DE DIFERENTES AREAS DE LA CUENCA DE UNARE (94 ANALISIS FISICO-QUIMICOS)	157
32	DISTRIBUCION DE LOS SEDIMENTOS EN UN EMBALSE USANDO EL METODO DE LAS AREAS INCREMENTADAS	160

Cont... GRAFICOS

No.		Página
33	SECCION LONGITUDINAL DEL DESARROLLO TIPICO DE UN DELTA SEDIMENTARIO EN UN EMBALSE	160
34	CURVA DE EFICIENCIA DE ATRAPE SEGUN BRUNNE	163
35	RELACIONES ADIMENSIONALES AREAS-PROFUNDIDADES RELATIVAS EN EMBALSES PATRONES	163
36	SEDIMENTACION DE EMBALSES. ESQUEMA CONCEPTUAL SIMPLIFICADO DEL BLOQUE TRAP DEL SISTEMA SEDEM	159
37	ESQUEMA CONCEPTUAL DEL BLOQUE APRA DEL SISTEMA SEDEM	164
38	ESQUEMA CONCEPTUAL SIMPLIFICADO DEL BLOQUE DIST DEL SISTEMA SEDEM	168
39	SECUENCIA DE OPERACIONES EN EL DIAGNOSTICO Y MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES EN UNA CUENCA HIDROLOGICA - UNA PERSPECTIVA	171
40	FUENTES DE SUMINISTROS Y DESTINOS DE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL EN LA CUENCA DE UNARE - VENEZUELA CENTRAL	174
41	DIAGRAMA ESTRUCTURADO DE UN MODELO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA, CONSERVACION DE LOS CANALES, OPERACION Y DIAGNOSTICO DE LA EVOLUCION DE LOS EMBALSES. CUENCA DE UNARE, VENEZUELA	176
42	DIAGRAMA DEL SISTEMA SUGERIDO PARA LA OPERACION Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA Y MANTENIMIENTO DE CANALES Y EMBALSES DE LA CUENCA DE UNARE	178
43	INTER-RELACION ENTRE CONSTITUYENTES DEL AGUA Y ECOLOGIA. (MODELO DEL CUERPO DE INGENIEROS).....	180

M A P A S

No.		Página
1	CUENCA DEL RIO UNARE. SITIOS DE LAS PRESAS CONS- TRUIDAS. Escala gráfica.....	3
2	CUENCA DEL RIO UNARE. MAPA GEOLOGICO..... Escala gráfica	7
3	PROCESO DE CAPTURA FLUVIAL DEL RIO TAMANACO POR EL SISTEMA DEL RIO UNARE, ESTADO GUARICO.....	17
4	DETALLES DEL DRENAJE LOCAL EN LA DIVISORIA Y SUS AREAS ADYACENTES DE LA CUENCA DEL UNARE, BORDE SUR-ORIENT- TAL. Escala 1:500.000.....	19
5	DRENAJE DE LA CUENCA DEL RIO UNARE. Escala gráfica.....	21
6	PATRON EROSIVO TIPICO EN UN PEQUEÑO SECTOR DE LA HO- YA ALTA DEL RIO UNARE, ESTADO ANZOATEGUI. Escala 1:25.000	27
7	CONFIGURACION DEL TRAMO INFERIOR DEL RIO GUERE EN SU CONFLUENCIA CON EL RIO UNARE. Escala 1:100.000.....	28
8	SITUACION RELATIVA Y MORFOLOGIA DE DIFERENTES PATRO- NES DE DRENAJE EN LA CUENCA DEL UNARE, SUB-CUENCA DEL RIO TAMANACO. Escala 1:250.000.....	30
9	SUB-CUENCAS LAYA Y EL PESCADO. HIDROGRAFIA Y PERFI- LES LONGITUDINALES.....	46
10	ESTRUCTURA DEL DRENAJE EN LA DIVISORIA NOR-ORIENTAL DE LA CUENCA DE UNARE BASADO EN INTERPRETACION DE LAS IMAGENES "LANDSAT" MSS BANDA 7, DEL 14 FEB 79. Escala 1:500.000.....	58
11	RELACION ENTRE CANTIDAD Y DIAS DE LLUVIA. CUENCA DE UNARE RESPECTO A OTRAS REGIONES DE VENEZUELA. Escala gráfica.....	81
12	MAPA ISOYETICO ANUAL 1973 EN LA CUENCA DEL RIO UNARE.	82
13	CUENCA DEL RIO UNARE. ISOYETAS MEDIAS PERIODO 1960-69. Escala 1:1.000.000.....	84
14	MAPA ISOYETICO MEDIO DEL PERIODO 1971-1974 CARACTERI- ZADO POR LA POCA LLUVIOSIDAD EN LA REGION. Escala 1:100.000.....	88
15	RENDIMIENTO DE SEDIMENTOS. CUENCA DE UNARE.(Potencial).	111

T A B L A S

No.		Página
1	DENSIDADES DE DRENAJE EVALUADAS DE CARTAS 1:100.000. DISTINTAS SUBCUENCAS DEL UNARE.....	31
2	PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES INDICADAS EN LOS CANALES DE LA CUENCA DEL RIO UNARE.....	43
3	VALORES CARACTERISTICOS DE LAS PRECIPITACIONES PARA DOS AÑOS DE ALTA (1970) Y BAJA (1973) PLUVIOSIDAD. CUENCA DEL RIO UNARE.....	86
4	PROPIEDADES GRANULOMETRICAS DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS Y MATERIALES EN LAS PLANICIES FLUVIALES. CUENCA DE UNARE. % EN PESO EXISTENTE ENTRE LOS DIAMETROS (mm) INDICADOS.....	93
5	DATOS DE ESCURRIMIENTO Y TRANSPORTE SOLIDO EN EL RIO ARAGUA. LA MADERA. 1970.....	98
6	COMPARACION DE FACTORES FISIOGRAFICOS, HIDROLOGICOS Y SEDIMENTOLOGICOS. SUB-CUENCAS DEL RIO UNARE.....	105
7	PLANTAS ADECUADAS PARA REFORESTAR ALREDEDORES DE LOS EMBALSES Y LAGUNAS. CUENCA DE UNARE.....	127
8	CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS PRINCIPALES EMBALSES EN LA CUENCA DE UNARE	133
9	RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO Y EVOLUCION DE LA SEDI-MENTACION EN DISTINTOS EMBALSES DE LA CUENCA DE UNARE	138
10	CONTAMINANTES INDUSTRIALES, ORIGEN Y CARACTERISTICAS-EFECTOS SOBRE LOS RECURSOS NATURALES EN LA CUENCA DE UNARE	146
11	PROPIEDADES Y CONSTITUYENTES DEL AGUA ALTERADOS POR LAS PRACTICAS DE RIEGO Y CONSUMO	149
12	SALIDA DEL PROGRAMA SEDEM. UN EJEMPLO	169
13	SALIDA DEL PROGRAMA SEDEM. UN EJEMPLO	170
14	CONTENIDO Y TIPOS DE ENTRADAS-PROCESOS-SALIDAS (SEPS) DEL MODELO PROPUESTO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD Y EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA EN LOS EMBALSES Y CANALES DE LA CUENCA DE UNARE	177
11-A	VERIFICACION DE LOS DATOS PARA EL USUARIO. SALIDA DEL PROGRAMA SEDEM. UN EJEMPLO	149-a

C R O Q U I S

No.		Página
1	DISPOSICION DE LOS CONTORNOS DE ROTURACION RECOMENDADOS SEGUN EL DECLIVE (.....) DE LOS TERRENOS Y DISPOSICION DE RESTOS VEGETALES, LUEGO DE LA DEFORESTACION ORIGINAL	23
2	CROQUIS ILUSTRATIVO DE LA EVOLUCION DEL PAISAJE ONDULADO POR ACCION DE ESFUERZOS INTERNOS EN ROCAS SEDIMENTARIAS NO BIEN CONSOLIDADAS Y EN CONJUNCION AL EFECTO DE LA EROSION HIDRICA.....	34
3	PATRONES DE FRACTURAS OBSERVADOS Y ESFUERZOS VERTICALES SOBRE UN PLANO HORIZONTAL EN UNA SECCION TIPICA DE RELIEVE ONDULADO.	42
4	FUENTES DE SUMINISTRO Y MEDIOS DE TRANSPORTE SOLIDO HACIA Y DENTRO DE LA PLANICIE FLUVIAL	63
5	ALGUNAS ESTRUCTURAS MORFOLOGICAS EN LA PLANICIE FLUVIAL DEL RIO UNARE EN UNA SECCION TIPICA DEL TRAMO INFERIOR.....	63
6	ESQUEMA DE APROVECHAMIENTO DE LAS PLANICIES DEL RIO UNARE.....	76
7	CONDICIONES EFLUENTE E INFLUENTE EN LOS CANALES.....	78
8	SISTEMA DE EMBALSES EN LA CUENCA DEL RIO TAMANACO, ESTADO GUARICO.....	118
9	NOMENCLATURA PROPUESTA Y CRITERIOS DE DISEÑO DE CONDUCTOS DE ALIVIO Y OTRAS ESTRUCTURAS PARA LAGOS COLINARIOS.....	132

TERMINOS Y CONCEPTOS

- A Area (Km^2) de drenaje de una cuenca.
 - Ai Area (Has) del depósito sólido en un embalse a una elevación (m/n.m.) dada.
 - Ah Area (Has) del depósito sólido a una altura genérica h (m) de nivel en el embalse.
 - a Area (Has) del depósito a una profundidad al pie de la presa.
 - D Diámetro (Km) perimetral de la divisoria de una cuenca.
 - DQO Demanda química de oxígeno.
 - DBO Demanda biológica de oxígeno.
 - DO Oxígeno disuelto.
 - e Base de los logaritmos neperianos.
 - H Altura (m) de una presa respecto al fondo del valle.
 - I.T.C. Convergencia inter-tropical.
 - K, Kl, k Coeficientes de proporcionalidad que relacionan analíticamente a distintas variables.
 - Lc Longitud (Km) total de un canal.
 - Lx Longitud (Km) axial de una cuenca.
 - m, n Coeficientes exponenciales que caracterizan a la función Gamma.
 - ppm Partes por millón (concentración gravimétrica).
 - Q2,33 Q* Caudales medios de crecientes, (m^3/seg).
 - Qs Caudal sólido en una sección fluvial, (Ton/día).
 - Q Caudal líquido en una sección fluvial, (m^3/seg).
 - S Almacenaje o capacidad de un embalse, (mill.m^3).
 - To Atrape del sedimento por un embalse. Relación entre el material suministrado y el evacuado del embalse, (%).
 - T Tiempo de operación de un embalse, (años).
 - TDS Total de sólidos solubles.
 - Vf Volumen final de sedimentos aportado a un embalse durante un período dado de operación, (mill.m^3).
 - Vo Volumen del depósito distribuido inmediato a una presa, (mill.m^3).
 - n Exponente de una función logarítmica, relacionado con la concentración del sedimento.
 - ρ_s Peso unitario del sedimento a un tiempo T, (Ton/m^3).
 - $\rho_{s'}$ Peso unitario del sedimento al inicio de la operación de un embalse, (Ton/m^3).
- Curva de sedimentación: relación a escala logarítmica entre el caudal sólido y líquido en una sección fluvial.
- Granulometría: descripción estadística del tamaño de las partículas del sedimento.

1. INTRODUCCION

Los trabajos de planificación, ordenamiento del uso y manejo de los recursos naturales renovables en una cuenca hidrográfica, deben fundamentarse en un buen conocimiento de su disponibilidad, distribución espacial-temporal y caracteres restrictivos respecto a sus empleos e interrelaciones. Ello impone una apropiada evaluación de muchos aspectos, relacionados con las propiedades de estos sistemas los cuales, a su vez, condicionan en cierta forma su comportamiento físico e hidroclimático y cuya mejor comprensión es fundamental para manejarlos en una forma racional y eficiente. Existen dos premisas que hacen que ello sea más real y necesario en hoyas hidrográficas como la del Unare; de una parte, la deficiencia de información básica en la zona y de otra la gran magnitud de los proyectos de obras hidráulicas y de manejo de las tierras, acometidas actualmente o por ser realizadas en el futuro.

La motivación para realizar este trabajo dentro del Departamento de Investigaciones Hidrometeorológicas de la Dirección de Hidrología de la Dirección General de Información e Investigación del Ambiente, viene de comprender esta realidad y de la necesidad de mejorar el conocimiento hidroclimático y geomórfico de una cuenca con importantes proyectos ingenieriles. El informe comienza haciendo una evaluación de las características generales geológico-fisiográficas de la cuenca, se toma en cuenta la actividad humana y su intervención como elemento modificador del medio y factor determinante del desarrollo. Consideraciones relativas a las características de los sistemas de cuencas, son contemplados. Una consideración especial se dedica al análisis y evolución de los canales y el desarrollo de las planicies fluviales.

Seguidamente se contemplan aspectos atinentes a la erosionabilidad de los suelos, planicies, los canales y la respuesta de ellos ante los procesos de escorrentía superficial y otros factores de control.

El análisis de algunos aspectos sobre la hidroclimatología de la región y su asociación con los procesos de transporte de sedimentos en diversas estaciones fluviométricas y propiedades de las aguas es realizado, preparándose mapas índices de productividad de sólidos de las diferentes zonas. Se da un tratamiento especial sobre aspectos relacionados con el manejo, diseño y aprovechamiento de los embalses así como de los factores que contribuyen en la región al deterioro de la calidad de las aguas y pérdida de sus capacidades útiles, proponiéndose modelos operacionales que la consideren como recurso relevante y elemento de control para el manejo de otros no menos importantes en la cuenca como son los suelos y la flora. Finalmente se consideran asuntos relativos a la hidroquímica de los cuerpos de agua tanto superficiales (ríos, embalses, lagunas, etc.), como subterráneos, analizándose su factibilidad y restricciones de uso con propósitos múltiples (riego, industrial, suministro ur-

bano), estados actuales de su composición y características físico-químicas, movilidad y concentraciones de algunos constituyentes y la asociación con el ambiente geológico y geoquímico. En esta nueva versión se sugieren esquemas de manejo de los recursos naturales renovables y se presenta un modelo matemático para tratar el problema de la sedimentación y atrape del sedimento en los embalses.

1.1 LA CUENCA - GENERALIDADES

La cuenca de Unare se localiza en la parte centro-norte de Venezuela (Mapa No. 1), entre los $8^{\circ} 30'$ a 10° de Latitud Norte y $64^{\circ} 66'$ de Longitud Oeste, abarcando parte de los Estados Guárico y Anzoátegui. El borde Norte de la cuenca está representado por la Serranía del Interior de la Cordillera de la Costa, la cual presenta un declive gradual hacia el Este de su divisoria, que desciende hasta las zonas bajas de Clarines, para emerger nuevamente hacia el Oeste, siguiendo el ramal oriental de la misma Cordillera. El borde restante de la cuenca tiene una configuración circular, desarrollándose en rocas y depósitos sedimentarios de la cuenca geológica de Oriente y está encerrada en su casi totalidad dentro de la extensa Provincia Fisiográfica de Los Llanos o Sabanas de Venezuela (Freile, 1965). A pesar de la poca variación altitudinal, dentro de la cuenca pueden observarse grandes diferencias en los sistemas y patrones de relieve, desde el accidentado e irregular con altas pendientes del frente de montañas del Caribe (poco porcentaje del área total), hasta los paisajes llanos, ondulados y depresivos, colinas, valles, llanos, depósitos fluviales, albuferas, formas eólicas y coluviales, mesas y plateaux, lomas de cimas redondeadas, escarpas y "badlands", que aparecen distribuidos en mayores extensiones dentro de diferentes sectores de la cuenca. Los cauces naturales ofrecen igualmente morfologías y características muy diversas de una a otra región, reflejando variaciones tanto en los procesos climáticos como geológicos dentro del medio, que parecieran ser poco significativos y reflejo de homogeneidad climática y fisiográfica, pero que interactuando dentro de escalas mayores del tiempo, han determinado diversos accidentes y configuraciones geomórficas en el relieve.

La evolución y progreso de la erosión en los bordes de la cuenca (excepto al Norte), refleja una gran uniformidad litológica y edáfica, mientras que si se centra en P (Mapa No. 1), y se gira en un radio de 100 Km aproximadamente, un bien definido frente erosional se detecta. Sin embargo, cuando se analizan los diferentes patrones erosivos que en tales frentes se producen, se debe reconocer que otros factores implícitos han condicionado efectivamente las formas resultantes del modelado, para influir notablemente en la evolución y avance gradual de la erosión dentro de una escala de tiempo geológico.

Desde el punto de vista de la configuración del drenaje y la topografía, se pueden diferenciar tres zonas o regiones dentro de la hoya que ofrecen características similares. El borde superior, que comprende una franja con un ancho de 40-50 Km, medidos desde la divisoria, el cual encierra un sistema de canales con una gran simetría radial hacia el centro de la cuenca, presenta el relieve topográficamente más accidentado, mostrando escarpas o depósitos granulares bien desarrollados en los canales. En las zonas con gradientes topográficos transicionales (mayor rata de suministro sólido), hay convergencia y unión de cauces con poco desarrollo de sinuosidades. En esta región se localizan la mayoría de los embalses previstos o existentes dentro de la cuenca. La cota de 100 m/n.m.m., representaría el borde inferior muy simétrico respecto al centro de gravedad de la hoya.

Una zona intermedia de drenaje relativamente poco denso, con ausencia de importantes contribuyentes al cauce principal, canales poco disectados y en estables estados de desarrollo hasta la cota 40 m/n.m.m. y finalmente, el tramo bajo del río Unare que corresponde al encerrado entre las poblaciones de Zaraza y Clarines, donde el cauce principal con secciones amplias desarrolla un patrón ameandreado y anastomóstico, recolectando hasta la confluencia con el río Güere, sólo tributarios menores. El sistema de albúferas de Píritu-Unare en la zona de descarga del río Unare al Mar Caribe, se considera por razones de su complejidad hidrológico-fluvial, fuera de la cuenca hidrográfica. Otras delimitaciones (8) de la cuenca cuyas zonas responden a analogías fisiográficas, han sido dadas y son: zona del bajo Unare, subcuenca del río Tamanaco, alto Unare, subcuenca del río Güere y Unare medio.

En referencias (3) y (12) se da una excelente descripción de caracteres socio-económicos, demográficos, geológicos y sobre los diferentes recursos naturales de la cuenca, el interesado debe referirse a ellas como complemento a los tópicos acá tratados.

1.2 GEOLOGIA GENERAL

La cuenca del río Unare presenta la ocurrencia de rocas de edad tan antigua como el Cretáceo Superior hasta depósitos aluviales recientes en las márgenes y planicies fluviales en los tramos bajos de los principales cauces naturales. Las rocas más antiguas se encuentran en el frente de montañas del Guárico, representadas en las formaciones Guayuta, Vidoño y Naricual. La primera está formada predominantemente por lutitas grises oscuras, arenosas, concrecionarias, con vestigios de materia carbonosa y fuertemente plegadas; hacia la parte superior apa-

recen capas delgadas de areniscas lenticulares duras.

La formación Vidoño está compuesta casi en su totalidad de lutitas oscuras fosilíferas a menudo glauconíticas y la formación Naricual posee una litología similar a la primera, esto es predominantemente lutítica con intervalos arenosos.

El mayor interés desde el punto de vista de área suministradora de sedimentos del río Tamanaco, lo ofrece la formación Quiamare. Esta penetra hacia el sur en una franja que termina en el embalse Playa de Piedra.

La litología predominante consiste de limolitas intercaladas con areniscas y conglomerados. Las areniscas presentan aspecto lenticular con estratificación cruzada.

El relieve resultante de la deformación plástica de los estratos finos superficiales y la acción hídrica sobre la formación es colinar y ondulado; generalmente los cauces han profundizado sus lechos hasta exponer horizontes continuos de lodolitas, lutitas y conglomerados de diversas coloraciones en los suelos superficiales. Los deslizamientos de taludes son comunes durante el período lluvioso cuando son saturados y sujetos a la acción de los flujos en los canales de escorrentía. La formación Chaguaramas es la que presenta una mayor ocurrencia superficial sobre esta porción de la cuenca y en general sobre toda la hoya; es principalmente argilácea, con lentes aislados de areniscas y arenas mostrando declives leves hacia el sur. El paisaje sobreimpuesto es de tipo colinar ondulado, menos erosionado que el desarrollado sobre la formación Quiamare que aflora al pie de las montañas al norte, aunque el conjunto de cauces que la atraviesan, han disectado profundamente sus lechos, lo que puede reflejar el efecto de una mayor concentración del escurrimiento superficial en los canales al ser muy impermeables los suelos de estas porciones de la cuenca, determinándose una mayor concentración de la escorrentía; esto permitiría explicar el hecho de que los tributarios del Unare por su margen derecha no ofrecen esta particularidad, siendo menos desarrolladas verticalmente las secciones.

Los sedimentos más recientes se sitúan en los bordes y planicies fluviales de los ríos principales. Ellos sustentan la vegetación más densa y representan los suelos de mejor calidad, desde el punto de vista edáfico. Las rocas del Mioceno están representadas por areniscas fosilíferas calcáreas-glauconíticas, de gran extensión lateral y fílsiles asociados a lutitas gris-verduzcas de la formación Freitas, las cuales corresponden en su deposición a ambientes marinos de profundidades moderadas a poco profundas.

La formación Las Piedras (Mioceno Superior-Plioceno), está representada por areniscas carbonosas y lutitas arcillosas, areniscas de grano fino muy friables, interlaminadas de colores gris claro - verduzcas, asociadas a capas delgadas carbonosas y ligníticas, todas con abundancia de fósiles y restos orgánicos. Vestigios erosionales a modo de terrazas, mesas tabulares con escarpas y depósitos de relleno formados por sedimentos poligenéticos de edad probable Pleistoceno y más antiguos, se encuentran distribuidos hacia el borde Sur y oriental de la cuenca. Ellos están representados por gravas, arenas y depósitos interestratificados de materiales finos con abundancia de compuestos de hierro y zirconio y en menor frecuencia otros minerales pesados de la formación Mesa, los cuales representan los depósitos antiguos del delta del Orinoco en el borde Norte del Escudo de Guayana, en su tendencia migratoria hacia el Atlántico al Este. Estos han experimentado en tiempos más recientes activa erosión fluvial y eólica, quedando sólo remanentes a veces aislados como mesas, cuya denudación no ha sido total, debido a la existencia de costras y capas más resistentes a la erosión de carácter ferruginoso, localizadas en los topes y superficies de dichos depósitos.

El Mapa No. 2 muestra la distribución geográfica de cada una de las formaciones expuestas en superficie y su litología en forma más detallada.

1.3 COBERTURA VEGETAL

El mayor porcentaje de la cuenca de Unare está recubierto de bosques deciduos semi-secos formados por variedades xerófilas y semi-xerófilas (cujíes y espinales) y los de tipo mesófilos periódicamente húmedos en las regiones bajas. Una angosta franja de la parte superior de la cuenca en las estribaciones de la Cordillera de La Costa, presenta bosques hidrófilos siempre húmedos y mesófilos, mientras que las márgenes de valles con elevaciones inferiores a los 100 m/n.m.m., exhiben bosques de galería en las regiones secas, que cubren las áreas con mejor calidad edáfica; éstas corresponden a zonas inundables de las planicies fluviales donde, por la mayor disponibilidad de humedad y el aporte de materiales sedimentarios durante los desbordes de las avenidas, se ha favorecido el desarrollo de un tipo más especializado de vegetación que es común a la mayoría de los cursos fluviales de la región.

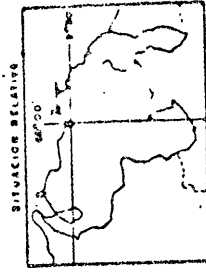
Explotación irracional de estos bosques para aprovechamiento de maderas y quemas periódicas practicadas por agricultores en los últimos años en la cuenca de Tamanaco, han puesto en expectativa a organismos que por su atribución han de velar por la conservación de los recursos de la cuenca, cuyo deterioro progresivo podría causar daños en las

Mapa No 2

CUENCA DEL RIO UNARE

MAPA GEOLOGICO

Fuente M.M.H. (1970)



MAR CARIBE

BARICUAL

VIGÃO

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

BARICUAL

LEYENDA

- ALUVIONES
- RELLENO PLEISTOCENICO (TERRAZAS, etc.)
- GRAVA Y/O CONGLOMERADOS
- ARENISCAS PREDOMINANTES
- ARENISCAS Y/O ARENAS ASOCIADAS CON LUTITAS PREDOMINANTES
- CALIZAS ASOCIADAS CON LUTITAS
- ARENISCAS Y/O CONGLOMERADOS ASOCIADAS CON LUTITAS, PIZARRAS, FILITAS
- LUTITAS Y/O ARCILLAS SUPRAYACENTES A ROCAS PERMEABLES
- LUTITAS, ARCILLAS
- FALLA DE CORRIENTO
- FALLA REGIONAL
- LIMITE DE FORMACION GEOLOGICA
- EMBALSE
- FORMACION GEOLOGICA

0 10 20 30 40
KILOMETROS

obras hidráulicas situadas en los niveles más bajos o a desmejorar la calidad de las aguas. En atención a lo anterior un reciente decreto gubernamental ha catalogado a esta región como zona de reserva forestal.

Estimaciones de organismos regionales señalan que en la cuenca de Tamanaco se han explotado irracionalmente en los últimos 20 años cerca de 60.000 Has de bosques naturales cuyos suelos hoy sostienen una cobertura herbácea y de pastos y en otros casos ninguna protección vegetal. Esta situación se ha observado en los alrededores del Km 133, Tucupido y otras zonas centrales de la cuenca donde el suelo permanece completamente desprovisto de vegetación y la cual debió ser removida para practicar cultivos estacionales. Vestigios de esta vegetación se preservan aún después de varios años de ser abandonadas las tierras, notándose una denudación del suelo hasta de 20 cm en algunos sitios y la imposibilidad de que otros tipos de vegetación logren desarrollarse. Bajo estas condiciones la radiación solar tiene una acción muy marcada sobre el suelo y su comportamiento.

La ocurrencia de bosques mesófilos en áreas localizadas y aisladas de la cuenca (Norte de Valle de La Pascua y Tucupido), ha llevado a una errónea denominación de "montañas de Tamanaco" por parte de los habitantes de la región, para definir un aspecto forestal que correspondería (adecuadamente) a un carácter fisiográfico relativo a la orografía de la zona, que de otra parte, es ondulada y de poca irregularidad topográfica. El hecho de perder estos bosques su follaje durante la larga estación seca, además de la magnitud e intensidad con que ocurren las primeras precipitaciones del período lluvioso, exponiéndose los suelos a la acción erosiva directa de las lluvias y la escorrentía superficial, permiten asignarle a estos factores notable influencia como causas reguladoras del transporte y suministro de sedimentos finos a los cursos fluviales.

Un alto porcentaje de las partes inferiores de la cuenca de Unare presentan bosques deciduos semi-secos alternando con variedades semi-xerofíticas. Estos pierden durante el lapso seco su follaje en un proceso que conlleva al único medio de suministro de materia orgánica vegetal al suelo; mientras que este tipo de vegetación es de poco desarrollo en el follaje, el enriquecimiento del suelo es muy pobre y lento en el tiempo, lo cual no determina su evolución y desarrollo activo, además de que por la topografía y carácter impermeable del terreno, estos materiales son transportados hacia zonas depresivas por la escorrentía durante el lapso lluvioso donde se produce su disposición, lo que permite que allí, en las márgenes de los canales en zonas de relleno y planicies depresivas, sea donde los suelos proveen mejores condiciones y características para la productividad.

obras hidráulicas situadas en los niveles más bajos o a desmejorar la calidad de las aguas. En atención a lo anterior un reciente decreto gubernamental ha catalogado a esta región como zona de reserva forestal.

Estimaciones de organismos regionales señalan que en la cuenca de Tamanaco se han explotado irracionalmente en los últimos 20 años cerca de 60.000 Has de bosques naturales cuyos suelos hoy sostienen una cobertura herbácea y de pastos y en otros casos ninguna protección vegetal. Esta situación se ha observado en los alrededores del Km 133, Tucupido y otras zonas centrales de la cuenca donde el suelo permanece completamente desprovisto de vegetación y la cual debió ser removida para practicar cultivos estacionales. Vestigios de esta vegetación se preservan aún después de varios años de ser abandonadas las tierras, notándose una denudación del suelo hasta de 20 cm en algunos sitios y la imposibilidad de que otros tipos de vegetación logren desarrollarse. Bajo estas condiciones la radiación solar tiene una acción muy marcada sobre el suelo y su comportamiento.

La ocurrencia de bosques mesófilos en áreas localizadas y aisladas de la cuenca (Norte de Valle de La Pascua y Tucupido), ha llevado a una errónea denominación de "montañas de Tamanaco" por parte de los habitantes de la región, para definir un aspecto forestal que correspondería (adecuadamente) a un carácter fisiográfico relativo a la orografía de la zona, que de otra parte, es ondulada y de poca irregularidad topográfica. El hecho de perder estos bosques su follaje durante la larga estación seca, además de la magnitud e intensidad con que ocurren las primeras precipitaciones del período lluvioso, exponiéndose los suelos a la acción erosiva directa de las lluvias y la escorrentía superficial, permiten asignarle a estos factores notable influencia como causas reguladoras del transporte y suministro de sedimentos finos a los cursos fluviales.

Un alto porcentaje de las partes inferiores de la cuenca de Unare presentan bosques deciduos semi-secos alternando con variedades semi-xerofíticas. Estos pierden durante el lapso seco su follaje en un proceso que conlleva al único medio de suministro de materia orgánica vegetal al suelo; mientras que este tipo de vegetación es de poco desarrollo en el follaje, el enriquecimiento del suelo es muy pobre y lento en el tiempo, lo cual no determina su evolución y desarrollo activo, además de que por la topografía y carácter impermeable del terreno, estos materiales son transportados hacia zonas depresivas por la escorrentía durante el lapso lluvioso donde se produce su disposición, lo que permite que allí, en las márgenes de los canales en zonas de relleno y planicies depresivas, sea donde los suelos proveen mejores condiciones y características para la productividad.

1.4 EFECTOS DE LAS QUEMAS

La incidencia de las quemas de bosques y la vegetación en las cuencas hidrográficas es un controversial tema para especialistas y estudiosos de las ciencias naturales, cuyos efectos no están bien diagnosticados y comprendidos en el presente. La razón es debida quizás, a que no se han analizado las influencias e interrelaciones de todos los factores que condicionan los mecanismos del proceso, principalmente cuando se considera su acción sobre las sabanas. Los siguientes aspectos básicos deben ser considerados:

- a. Textura y composición del suelo (granulometría, mineralogía, estratificación superficial, etc.).
- b. Tipo de vegetación afectada (gramíneas, malezas, arbustos, bosque leñoso, etc.).
- c. Persistencia y duración del fuego.
- d. Factores climáticos (vientos, humedad atmosférica, radiación solar, etc.).
- e. Condiciones antecedentes de humedad en el suelo (zonas de humedad).
- f. Frecuencia de los incendios.

Los resultados obtenidos de la acción del fuego sobre el suelo superficial y la vegetación en diversas regiones, han conducido a conclusiones contradictorias y a veces dispares. Incrementos acelerados de la erosión (17-45%), se han reportado en zonas de bosques que han sido quemadas completamente respecto a las no intervenidas, (Krammes, 1960, SE de California, EE.UU.), mientras ningún efecto importante sobre el suelo se detectó, (Biswell-Schultz, 1957), al quemarse bosques de pinos del género Ponderosa en la misma región.

Contradictorios efectos sobre el comportamiento de la infiltración también han sido observados, encontrándose notables incrementos, (Scott y Burgy, 1957, California, EE.UU.), mientras otros (Dyrness-Youngberg, 1957; Foller-Beaton, 1959), han encontrado disminuciones de las ratas de infiltración.

Siendo la materia orgánica un importante factor de regulación de la estabilidad estructural del suelo, su remoción por acción del fuego tiene un efecto adverso sobre su comportamiento y evolución pedogénica.

Algunos autores sin embargo, han señalado disminuciones del contenido de materia orgánica en suelos sujetos a la acción del fuego, (Burns, 1952, New Jersey), mientras que otros (Dyrness y Youngberg, 1957), han encontrado aumentos entre 64-75% en el contenido de materia orgánica. Estos casos contradictorios obviamente reflejan condiciones en las cuales otros factores ambientales y físicos intervienen causando resultados inesperados.

La vegetación leñosa y densa sobre suelos finos al quemarse produce resultados muy diferentes a que si se calcina una de tipo herbácea baja y seca sobre un suelo arenoso. Frentes de avance del fuego con velocidades hasta de 0,05 m/seg y con una persistencia de 30 seg aproximadamente, sobre áreas locales en periodos de vientos intensos al nivel del terreno, han sido medidos en suelos arenosos de sabanas a finales del período seco (costas del Orinoco), sin mayores efectos detrimentales, donde puede notarse después de algunos días regeneración de la vegetación herbácea, mientras que una pérdida notable de la estructura porosa macroscópica y de los agregados del suelo arcilloso superficial en la cuenca alta del río Tamanaco, paralelamente al desarrollo de grietas de fractura y formación de grumos aterronados, después de haberse quemado intensivamente el bosque leñoso natural, particularmente en áreas inmediatas a los trozos de madera calcinados, fué confirmada.

Así, mientras en forma instantánea el efecto del fuego tiene mayor incidencia sobre la estructura del suelo y sus propiedades a intervalos mayores de tiempo, los efectos detrimentales más adversos en suelos tipificados como los de la cuenca de Unare, se reflejarán sobre procesos que son más bien controlados por la cubierta vegetal removida, lo cual trae consigo efectos colaterales diversos sobre el régimen hidrológico y el transporte de contaminantes por los cauces fluviales, especialmente los sedimentos y la misma materia orgánica, producto de la combustión de la vegetación, a costa de un empobrecimiento en nutrientes y pérdida de la textura original del suelo limo-arcilloso.

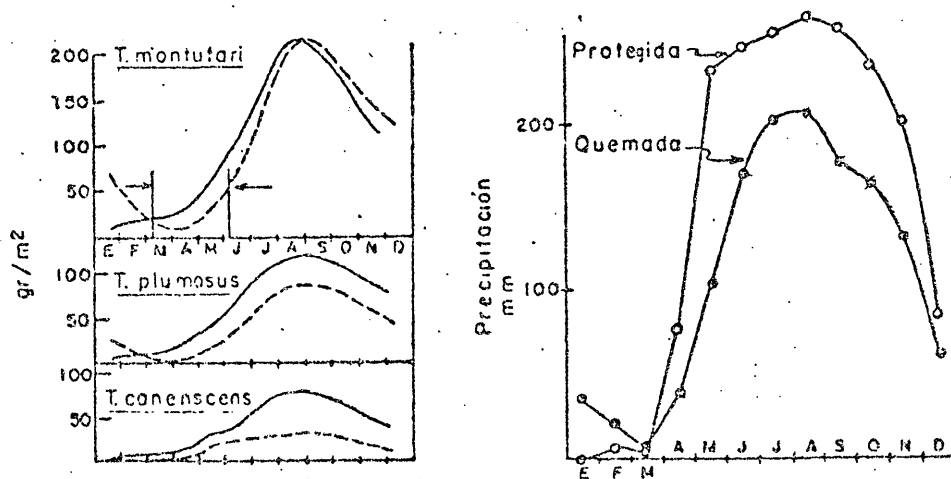
Análisis del comportamiento de ciertas gramíneas (T. montufari, T. plumosus y A. canescens), ante la acción del fuego y el balance de humedad en el suelo, han sido realizadas en sabanas de Calabozo, (18), las cuales se caracterizan por poseer una fracción granular elevada, mayores ratas de infiltración, condiciones más elevadas de acidez, déficit marcado de P y N y menor capacidad de intercambiabilidad de macroelementos en los suelos, que los de la cuenca de Unare.

Las quemas a mediados de la estación seca han mostrado acelerar la productividad anual de biomasa vegetal entre un 10-30% y a finales de la estación lluviosa han contribuido a elevar el ritmo de crecimiento de las gramíneas con un aumento del consumo de la humedad del suelo. Otros cambios observados han sido la tendencia a la dominancia de especies en áreas protegidas del fuego y cuando éste ha ocurrido en forma recurrente, las gramíneas perennes tienden a desaparecer, originándose cambios estacionales en las sabanas, con tendencia al desarrollo de especies xerófitas.

El Gráfico No. 1 muestra las tendencias de productividad (gr/m^2) en las especies consideradas tanto en parcelas protegidas del fuego, como de aquellas sometidas a su efecto, ilustrándose además el contenido de humedad del suelo a través de los diferentes meses del año. Se observa una aceptable correlación entre dichas variables en todos los casos y destaca el hecho de que en *T. montufari* y *plumosus* - más notable en la primera -, el desarrollo vegetativo en las sujetas a quemas, se inicia y es mayor en aquellos meses en que muestra el suelo mayor déficit de humedad. Las diferencias en las productividades máximas se han atribuido a la presencia de componentes subordinados, (18).

Cuando se trata de bosques deciduos quemados, donde predomina el Guatacaro Blanco, (*Beureria cumanensis*), muy abundante en la región centro-occidental de la cuenca, la regeneración de la vegetación es retardada y si los suelos presentan declives y ondulaciones notables, tal vez como resultado de la pérdida de nutrientes y la escasa disponibilidad de humedad en el suelo al ser sometido a intensidades altas de radiación, sólo se desarrollan gramíneas y hierbas estacionales, que se desecan activamente al iniciarse el período de sequía.

Gráfico No. 1



Tendencias de productividad (gr/m^2) en las especies *T. montufari*, *plumosus* y *T. canescens*. (San José y Medina),

Regeneración activa de gramíneas se ha notado en potreros quemados al fin de la época seca en suelos bajo condiciones más críticas de desecación en la cuenca de Unare, donde aparte de la presencia de tales componentes que deben estar presentes, otros mecanismos hidrometeorológicos deben ser considerados como causantes de tan particular comportamiento.

Como resultado de desforestar los bosques naturales y quemar extensamente las sabanas, el balance energético en la interfase suelo-atmósfera inferior debe modificarse. Un suelo desforestado o sabanas calcinadas durante el período seco adquieren una capacidad reflexiva de la radiación solar mucho más alta que cuando están provistas de vegetación, así la circulación a estos niveles, como consecuencia de cambios en el gradiente térmico superficial, debe modificarse. Si a ello se añade la presencia de una mayor concentración de aerosoles en el aire, es obvio que deben ocurrir cambios en el régimen de precipitación y su distribución aparte de la alteración física del mismo suelo, claro está, que es difícil cuantificar estas alteraciones en el régimen pluviométrico y de hecho aún nadie lo ha establecido, siendo aparente que ellas se manifiestan distintamente tanto a cortos como a largos períodos de tiempo.

Por estas razones entre otras, es que cobra importancia actual la labor de controlar eficientemente el manejo de estos bosques, especialmente en áreas muy sensibles a experimentar cambios irreversibles, (como son las planicies fluviales), cuyas consecuencias no pueden juzgarse y diagnosticarse en el presente, especialmente cuando son enormes extensiones las superficies afectadas, al cambiarse los hábitos del uso de la tierra desde su estado natural hacia fines agropecuarios, con una tendencia a incrementarse conforme en el futuro aumente el desarrollo de la región.

1.5 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA FAUNA SILVESTRE Y SU PRESERVACION

La evolución y distribución de la fauna silvestre en la cuenca de Unare está altamente vinculada a la presencia del agua, la distribución de los bosques y sabanas y últimamente a la penetración y presencia humana. Algunas especies de importancia por su productividad como lo son el venado, váquiros y conejos han migrado y decaído en su proliferación en estas áreas como resultado del último efecto, mientras por acción de la extracción de agua desde los embalses hacia los cursos naturales donde se encuentra escorrentía superficial permanente o en sus alrededores, la fauna ha comenzado a recuperarse. De particular interés

por la adaptabilidad especial que ofrece el venado a la alternancia de áreas de sabanas y bosques de galería, resultaría de interés fomentar en forma controlada su cría y explotación o incluso lo que parece más viable en esta región, la incorporación de antílopes de mayor rendimiento de carne, que contribuiría a complementar el aprovechamiento de los recursos de la región, utilizándolos en una forma natural y con pocas inversiones, lo que puede conllevar a una caza dirigida y controlada técnicamente. Un control biológico y agronómico en las labores de caza, cruces, adaptabilidad, enfermedades y de comercialización se hace indispensable de ser puesta en práctica por parte de la institución u organismo que fomente este tipo de desarrollo.

Es de señalar que en algunos hatos llaneros de la cuenca se preserva y mantiene la cría del venado en estado salvaje y a menudo se practican algunos controles de tipo genético (cacería de los machos enfermos y seniles), pero cuando se tienen manadas tan numerosas como las observadas en el Hato de Santa Bárbara al Sur del Socorro, el intercambio de las poblaciones se hace necesario. Esta experiencia ejemplar de como puede fomentarse y mantenerse una especie, debe servir además de apoyo para futuras labores de investigación en esta área, la cual favorezca hacer aprovechamientos planificados de la fauna silvestre autóctona.

1.6 LOS EMBALSES Y LA FAUNA ACUIDULCE

Si por razones de la configuración topográfica de los vasos de almacenamiento, un alto porcentaje de las superficies inundadas de los embalses de la cuenca de Unare ofrecen relativamente bajas profundidades y por ende bajos almacenamientos, no es menos cierto que tal particularidad hace que estas áreas presenten una mayor productividad biótica al ser afectadas por la luz solar, a tal punto que en algunos embalses recientes como el de Cigarrón (Tamanaco), con sólo dos años de ejecutado, presenta ya un alto rendimiento de peces, lo que ha venido a complementar la dieta protéica de los habitantes de la región. En otros como el de Playa de Piedra, se ha venido observando en los últimos años (15) una proliferación natural del chigüire (Hidrochoerus hydrochaeris), y en general la fauna silvestre muestra evidencias de recuperación en los alrededores y áreas adyacentes a los embalses.

Siembras de ciertas variedades de peces han sido realizadas en algunos embalses de la cuenca, pero se hace necesario desarrollar programas continuos de control biológico que permitan seguir y diagnosticar la evolución y adaptación de las mismas, así como su rendimiento.

Posteriormente se discutirá sobre uno, tal vez el más serio problema de los embalses de la cuenca; íntimamente asociado a la presencia de nutrientes en las aguas, en conexión a las especiales condiciones climáticas de la región, como lo es la presencia de las algas e hidrófitas (lirios y otros) en los reservorios. La conexión entre la distribución y ocurrencia de estas cadenas bióticas en los embalses de la cuenca es un aspecto de gran interés para mejorar su conocimiento y el aprovechamiento en una forma eficiente, lo que puede conducir a un más efectivo control de la calidad de las aguas, por ejemplo.

La presencia del sedimento fino y el poco desarrollo de la microflora en algunos embalses como el de La Estancia, donde se introdujeron en los primeros años de operación diversas especies de peces, en una experiencia que resultó exitosa por el rápido incremento poblacional, no parecen afectar significativamente el desarrollo de la fauna acuática, mientras que en otros se dan condiciones idénticas o más propicias para fomentar piscicultivos, la posibilidad de sus aprovechamientos en esta forma, no debe descartarse. De hecho, las experiencias observadas sobre este aspecto y el comportamiento en la rápida proliferación de la ictio-fauna en ausencia de algún control biológico en embalses relativamente recientes, sugiere que ésta es una alternativa de aprovechamiento de enorme interés y factibilidad en los embalses de la cuenca.

1.7 ACTIVIDAD HUMANA - RELACION CON LA EROSION

La actividad ganadera representa la principal labor dentro de la cuenca, desarrollándose en forma extensiva sobre fincas de grandes superficies. Estas faenas tienen un carácter tradicional quizás desde el establecimiento de los primeros hatos ganaderos implantados durante la época colonial. En menor escala se practica la agricultura nómada condicionada por la forma de tenencia de la tierra, extensión de las explotaciones y la habitual tendencia del agricultor al desarrollo de pocos cultivos. En los últimos años se ha observado la alternancia en las prácticas agro-pecuarias por algunos productores, pero siempre predominando las últimas.

El carácter negativo más relevante que este tipo de manejo de la tierra ejerce sobre la preservación y mantenimiento de los recursos naturales en la zona oriental y otras áreas de la cuenca, radica en la particularidad como se han venido explotando tradicionalmente ambos renglones. Los propietarios de la tierra ceden por varios años zonas boscosas para ser explotadas por campesinos que las desforestan mediante la tala y quema, las cultivan con una o dos variedades (maíz, algodón) y luego siembran pastos que usa el propietario para el fomento ganadero, iniciándose de nuevo el mismo proceso en otras tierras adyacentes, lo cual da un carác-

ter nómada al laboreo. Estos suelos calcinados y expuestos a la acción directa de la precipitación y la escorrentía superficial pierden por lavado altos porcentajes de los nutrientes y compuestos orgánicos en sus niveles superficiales, lo que se traduce, dependiendo de la naturaleza del suelo y condiciones de exposición (pendientes, desarrollo de grietas, actividad biológica, grado de cohesión, regeneración de la vegetación, etc.), en erosión y remoción de las partículas superficiales.

En esta fase, estas áreas durante una o pocas tormentas, pueden suplir cantidades de sedimentos que son afortunadamente retenidos en las zonas más bajas donde los ambientes de deposición bien sean condicionados por las bajas pendientes de los terrenos o la existencia de barreras vegetales naturales, impiden que rápidamente lleguen hasta los cursos fluviales que son las áreas receptoras las que al desbordarse disponen parte de sus cargas en las planicies fluviales o bien las llevan finalmente hasta los reservorios, ya sean naturales o artificiales.

Normalmente el período de aprovechamiento agrícola de estas tierras cultivadas sin adecuadas técnicas de tratamiento y sin uso de fertilizantes, no exceden de tres años, siendo común el aprovechamiento durante un año en el período lluvioso después del cual el campesino se desplaza a otros sectores donde reinicia la labor.

La actividad ganadera ha experimentado notables transformaciones particularmente en los últimos veinte años. Las tierras han sido cercadas y el pastoreo se ha intensificado en suelos que no dan una productividad para mantener altas densidades poblacionales. Así, durante los rigores del período seco, el déficit de pastos determina más que la poca lluviosidad, la inanición de una mayor número de animales. Al rededor de tal mecanismo se ha generalizado el concepto de "sequía" que periódicamente afecta a grandes sectores de la cuenca de Unare (centro y occidente), cuando en realidad otras causas son las determinantes de una calamidad que es fruto del propio desarrollo.

Lo anterior sirve para establecer que no solamente con la disponibilidad de agua en los embalses el problema de la "sequía" estará resuelto. Es necesario que las actividades pecuarias contemplen técnicas más modernas como el riego, corte y conservación del pasto, rotación en el uso de potreros, conservación de los suelos de sabanas, etc., para liberarse de los adversos intangibles que pueda deparar el clima, dentro de un medio que exige procedimientos de trabajo muy diferentes a los que allá persisten y aún se mantienen.

Si estos suelos son cubiertos por hierbas o la vegetación herbácea natural se regenera rápidamente, como ocurre en algunas de las áreas intervenidas por los agricultores, el efecto erosivo se minimiza. Pero si no ocurre lo anterior, el desarrollo de la erosión se inicia y es entonces necesario el transcurso de un largo periodo para que el terreno intervenido alcance sus condiciones originales. Con este mecanismo se inicia el modelado de superficies erosionadas que terminan en el desarrollo de cárcavas sobre las áreas depresivas, que prosiguen su crecimiento por erosión regresiva. Es afortunado que dadas las características cohesivas de los suelos y las bajas pendientes, aparte del carácter tan poco evolucionado de las redes de drenaje, que determina la formación de microcuencas dentro del relieve, lo que conlleva a una reducida concentración del escurrimiento en los cursos superficiales, el proceso de la erosión es sólo significativo dentro de escalas de tiempo gradado y geológico.

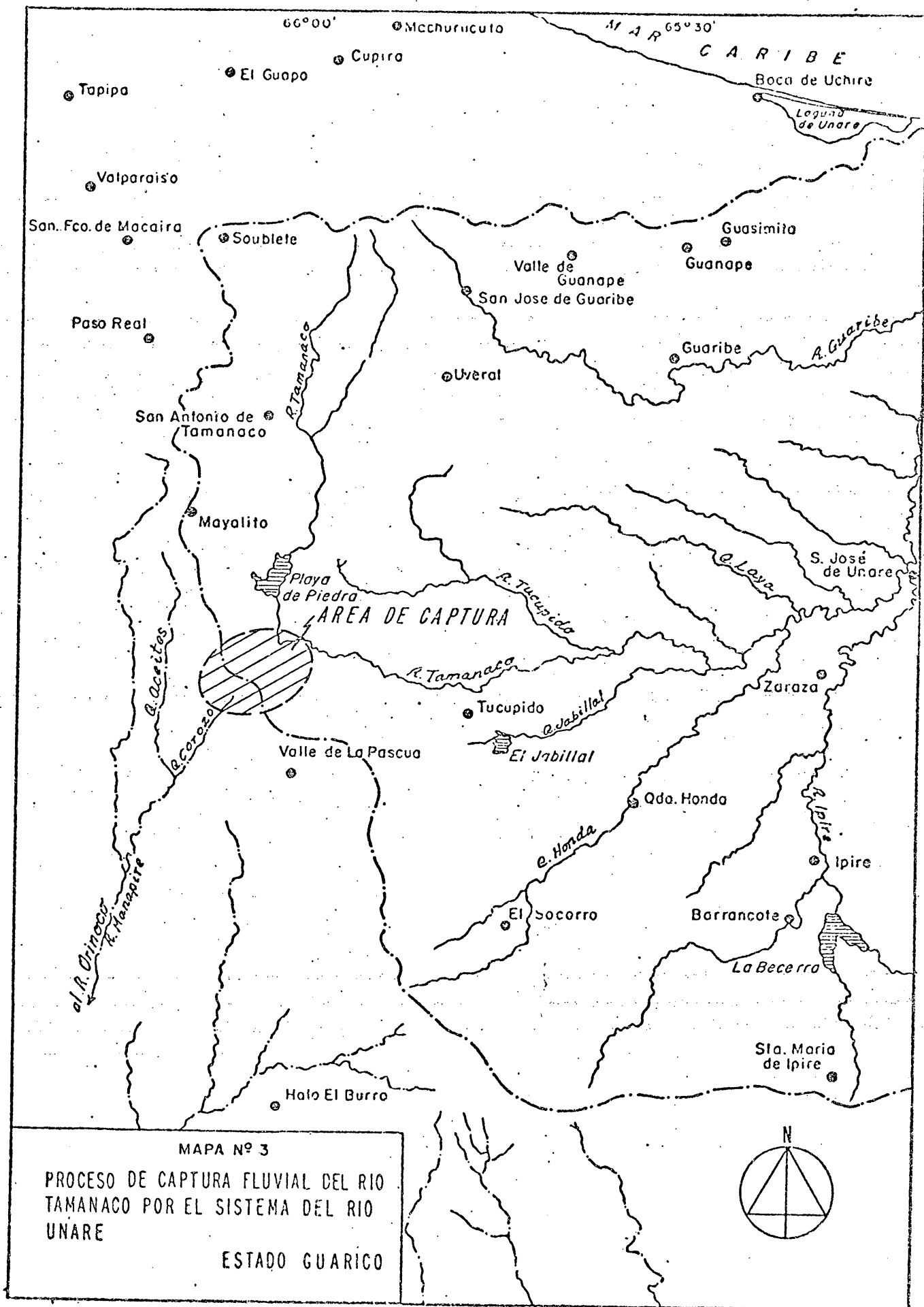
La evolución local de la vegetación después de las quemas así como el suministro sólido, no parecen ser afectados significativamente en zonas aisladas y de pequeña magnitud de desarrollo como los "conucos" de los agricultores de la región, a menos que ellos afecten zonas adyacentes a los cursos de escurrimiento o se realice el trabajo en forma continua y progresiva hasta abarcar extensiones mayores.

La misma cubierta herbácea que se regenera o es dejada por el conuquero, tiene un activo efecto moderador de la erosión durante el periodo lluvioso. La modalidad reciente poco analizada y comprendida de desarrollar enormes extensiones con maquinaria moderna, puede depalear nuevas interrogantes y perspectivas que van a requerir de mayores y más cuidadosos análisis técnicos para evitar problemas de índole más críticos que aquellos producidos por el hoy decadente conuco.

1.8 SUB-CUENCA DE TAMANACO. FACTORES DE ERODABILIDAD Y MEDIDAS DE CONTROL

Esta se encuentra localizada en la región centro-Norte de Venezuela, formando parte de la hoya hidrográfica del río Unare, comprendida dentro de la Región Hidrográfica No. 7 de COPLANARH, cubriendo una extensión de 6.340 Km² que representan un 29% aproximadamente del área de la cuenca de Unare.

El río Tamanaco tiene sus cabeceras en la Serranía del Interior (Fila Maestra, límite entre los Estados Guárico y Miranda), a elevaciones de 800 m/n.m.m., drenando en sentido Sur hasta el tramo carretera



Chaguaramas - Km 133, donde gira bruscamente al Este, convergiendo en forma centrípeta como lo hacen la mayoría de los tributarios del Unare, hacia el centro de la cuenca.

Esta notable deflexión en la dirección de drenaje en el cauce del Tamanaco, la estrecha divisoria que lo separa de los ríos Otocua y Manapire, con los que mantiene una orientación coincidente controlada por la pendiente de las tierras al Sur, cuyos sistemas de drenaje contribuyen a la hoya del Orinoco, desarrollando un patrón sub-paralelo, permiten inferir la probable captura del cauce superior por el curso medio actual del río Tamanaco, de modo que la cuenca del río Unare ha expandido su área en este sector a costa de la anexión de un canal con un régimen fluvial menos activo. (Ver Mapa No. 3).

Esta interconexión fluvial se producía a través de la quebrada Los Aceiticos y/o la del Corozo, que son las contribuyentes del río Manapire que drenan las tierras entre Valle de La Pascua y Chaguaramas. Algunas planicies que representan vestigios de antiguas zonas de deposición y relleno en aquel tramo de muy difuso drenaje, se preservan aún manteniendo escasa vegetación, las mismas se conocen con el nombre de salinas, (Ej. de Manapire), aunque si bien carecen de sales, no dejan de ser análogas a aquellas, por la forma como se almacenan las aguas superficiales en planicies inundables y las altas tasas de evaporación que en ellas se producen.

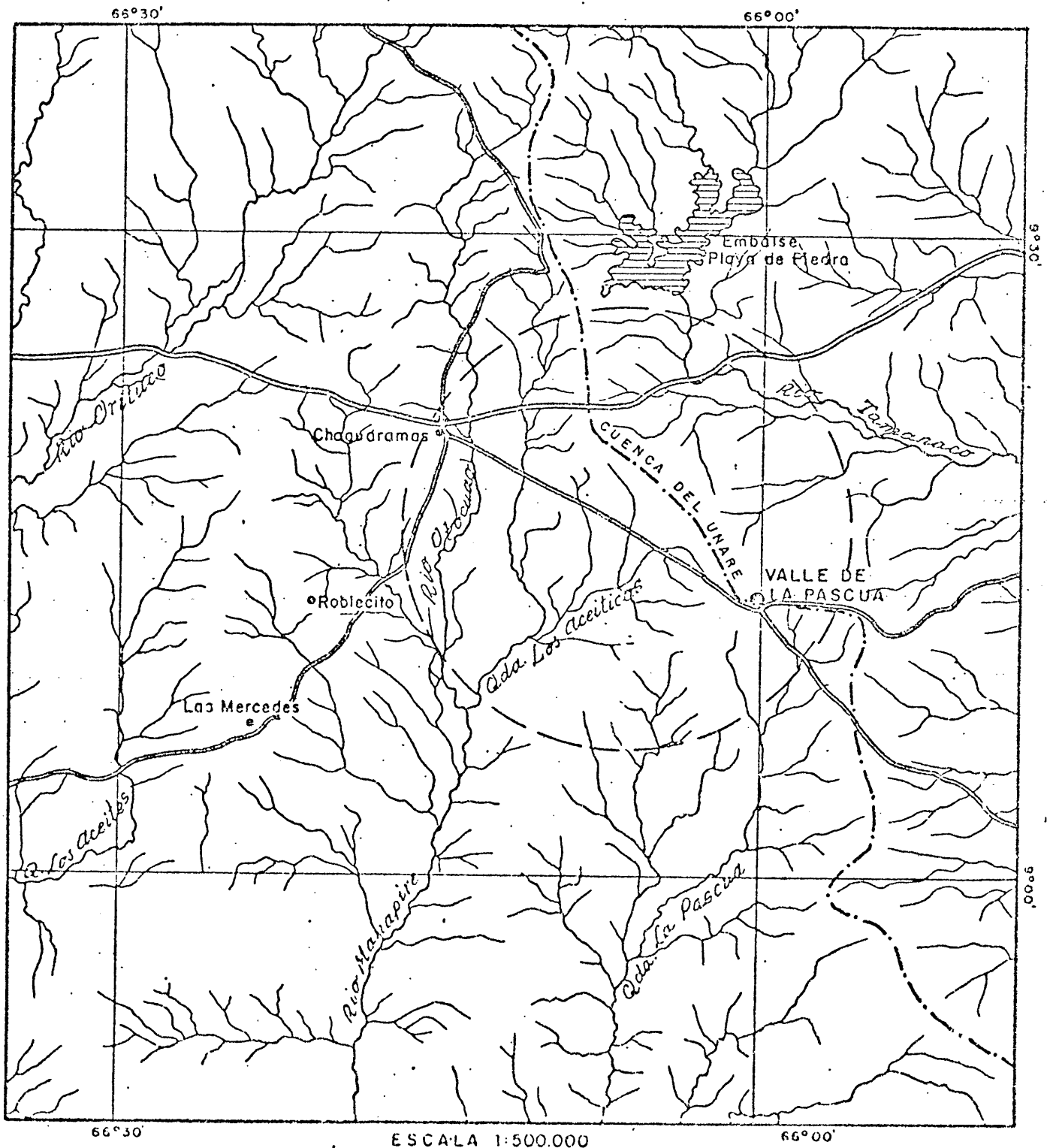
La transición topográfica de la cuenca alta hacia los llanos es abrupta hasta la cota de 400 m/n.m.m., existiendo cerros con elevaciones de 600 m/n.m.m., decreciendo el gradiente medio del perfil longitudinal hasta 4 m/Km al alcanzar la curva de 200 m/n.m.m. en San Antonio de Tamanaco. En este sector el drenaje es sub-dendrítico poco denso, aumentando notablemente la sinuosidad del cauce en dirección aguas abajo.

Características muy diversas ofrece el cauce del río Tamanaco según las alturas, pendiente y carácter de los suelos por él atravesados.

En la zona transicional existen extensas planicies fluviales formadas por materiales finos producto de la sedimentación y el transporte de las áreas montañosas al Norte, las cuales han sido levantadas por efecto del tectonismo de la Cordillera, éstas ofrecen bajos gradientes topográficos y han sido sometidas a la disección vertical por los ríos en más recientes tiempos geológicos. Algunos tributarios como la Quebrada Tocaragua, La Cruz y Arenotas, presentan cauces bien definidos en la zona de irregular relieve, pero al juntarse para definir al Tamanaco en la parte transicional, se reducen considerablemente las secciones con crecimiento

MAPA N° 4

DETALLES DEL DRENAJE LOCAL EN LA DIVISORIA Y SUS AREAS ADYACENTES
DE LA CUENCA DEL UNARE - BORDE SUR-ORIENTAL



de vegetación arbustiva y herbácea, incluso en los lechos.

En San Antonio de Tamanaco ya el cauce se encuentra encajonado con planicies marginales definidas. En la sección de medición los taludes y el lecho están formados por material fino, existiendo aguas abajo a intervalos irregulares capas resistentes de limolitas duras y areniscas, que preservan al lecho de la erosión vertical. Estos intervalos rocosos ejercen un gran control en la estabilidad de los cauces y favorece se desarrollen zonas depresivas en los lechos aguas arriba a las zonas de exposición, donde se mantienen temporalmente volúmenes de agua almacenados después del período lluvioso.

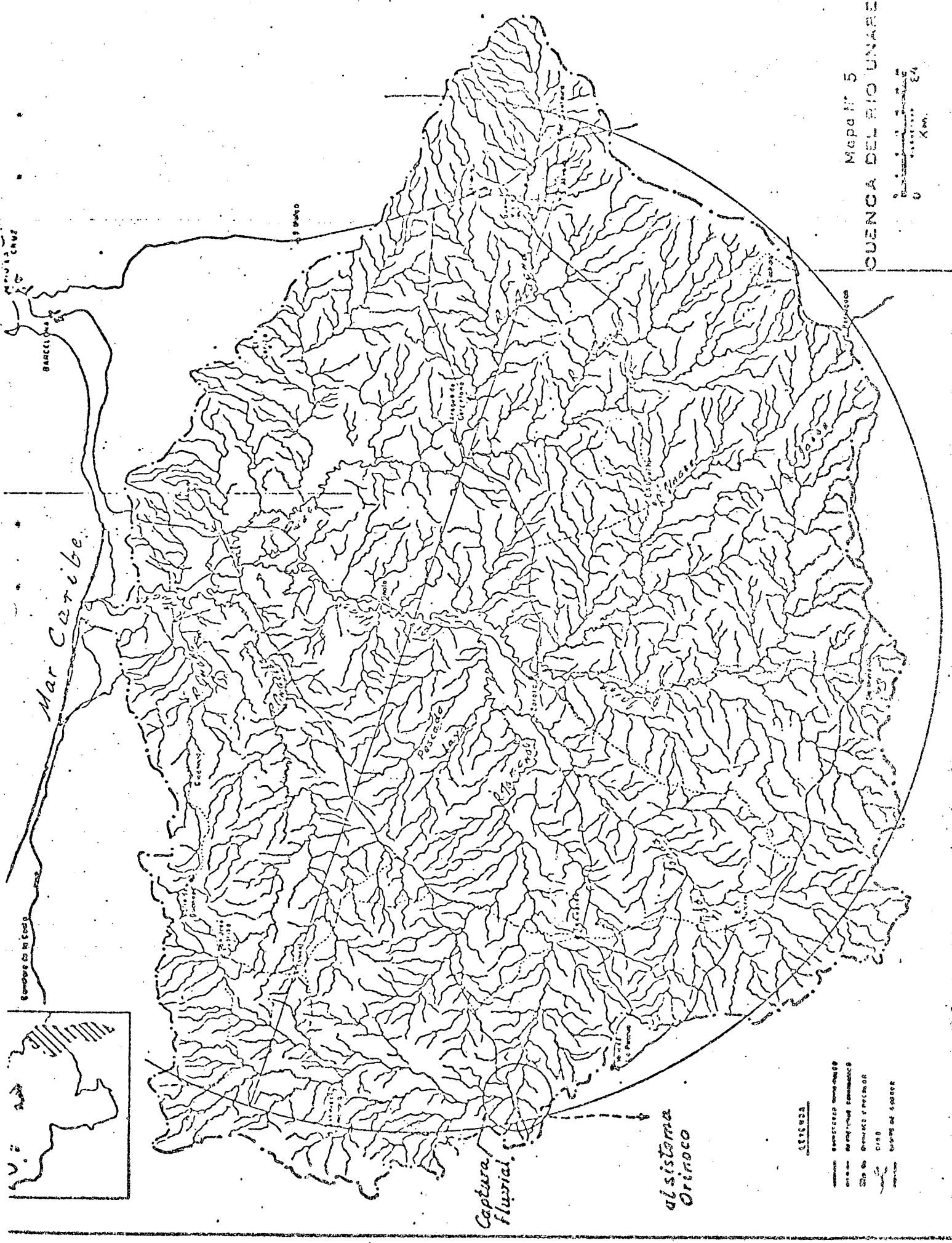
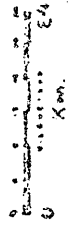
El relieve de las tierras comprendidas entre 100 y 250 m/n.m.m., que abarcan la porción de la cuenca hasta el embalse Playa de Piedra, es ondulado con desarrollo de colinas de suave declive, drenadas por tributarios de corta longitud. En el tramo medio y bajo el río Tamanaco recibe la contribución de los más importantes tributarios, entre ellos el río Tucupido, las quebradas Montevideo, El Orejano, Laya y El Pescado por la margen izquierda y otras menores como las quebradas Honda, San Jonote y Jabillito por la derecha. Todos estos cursos presentan un régimen efímero de escorrentía.

La uniformidad litológica de los suelos de la cuenca y de las pendientes generales dentro de un suave relieve, hacen que un número relativamente alto de canales contribuyan al cauce del río Tamanaco. Lo segundo tiene importancia en algunas pequeñas cuencas donde un sistema paralelo de drenaje se ha desarrollado, (véase Mapa No. 5). Estos canales, sin embargo, tienen menor importancia como suministradores de aportes sólidos y de escorrentía, que aquellos de longitudes más cortas que contribuyen directamente al cauce principal y los cuales condicionan el aumento de las densidades de drenaje en áreas adyacentes a las planicies fluviales marginales.

Aguas abajo del embalse Playa de Piedra, se produce una alta densidad y complejidad fluvial, con un estado más evolucionado que la observada en los niveles superiores, lo cual es un reflejo posiblemente de la influencia del propio cauce principal sobre la posición de los niveles de base de los diferentes contribuyentes, factor éste determinante de que los procesos erosionales y de concentración de la escorrentía superficial, sean más marcados en estas áreas particulares. Ver Mapa No. 4.

Mapa N° 5

CUENCA DEL RIO UNARE



Captura
Fluvial

al sistema
Orinoco



LEGENDA

- línea de drenaje
- línea de drenaje principal
- línea de drenaje secundaria
- línea de drenaje terciaria
- línea de drenaje cuaternaria
- línea de drenaje quinary
- línea de drenaje senary
- línea de drenaje septary
- línea de drenaje octary
- línea de drenaje nonary
- línea de drenaje decary
- línea de drenaje undecary
- línea de drenaje duodecary
- línea de drenaje tredecary
- línea de drenaje quidecary
- línea de drenaje sexdecary
- línea de drenaje septdecary
- línea de drenaje octodecary
- línea de drenaje nondecary
- línea de drenaje vigintary
- línea de drenaje vigintidary
- línea de drenaje trigintary
- línea de drenaje trigintidary
- línea de drenaje quadrigintary
- línea de drenaje quadrigintidary
- línea de drenaje quinquagintary
- línea de drenaje quinquagintidary
- línea de drenaje sexagintary
- línea de drenaje sexagintidary
- línea de drenaje septuagintary
- línea de drenaje septuagintidary
- línea de drenaje octogintary
- línea de drenaje octogintidary
- línea de drenaje nonagintary
- línea de drenaje nonagintidary
- línea de drenaje centenary
- línea de drenaje centenaryidary

En la subcuenca de Tamanaco y en otras diversas regiones de la cuenca del Unare, los suelos experimentan como resultado de las condiciones climáticas existentes, notables variaciones en su contenido de humedad, consistencia y grado de protección vegetal, resistencia estructural y estructura física. Durante el período lluvioso éstos son saturados y en algunas áreas sujetos a inundación, con lo cual tanto el impacto de la lluvia como el transporte tienen poca importancia. Las altas pérdidas de humedad producen contracción y fracturamiento en las masas del suelo que se manifiesta superficialmente con la formación de grietas de desecación; esto es notable en aquellos suelos de textura pesada que han sufrido alto grado de saturación en el período lluvioso. Tal particularidad influencia el proceso de escorrentía superficial, incrementándose la infiltración durante las primeras tormentas, así como contribuyendo a la reducción tanto del suministro como del transporte sólido.

En los últimos años con la apertura de nuevas y numerosas vías de comunicación, el laboreo agrícola ha iniciado una intensificación en muchos sectores de la cuenca del Tamanaco, esto es un reflejo de la incorporación de maquinaria agrícola, introducción del uso de nuevas técnicas de trabajo de la tierra tales como la desforestación mecánica, empleo de fertilizantes, ayuda crediticia, etc. Tal vez donde estos procedimientos han alcanzado una mayor generalización sea en la cuenca media y baja del río Tamanaco donde enormes extensiones de suelos han sido desprovistos de la vegetación natural (bosques) adoptando estas áreas en el período seco, similitud con enormes dunas desérticas, estabilizadas sólo por el grado de cohesividad de los suelos y lo deficiente y poco prolífico de la pluviosidad.

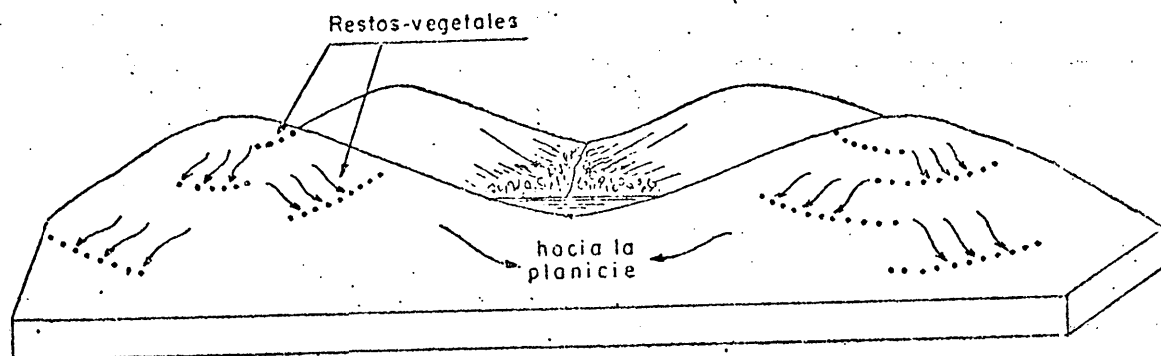
Cuando el aprovechamiento es con fines agrícolas, estas prácticas se realizan sobre terrenos colinarios y planicies marginales a los canales de escorrentía, siendo la vegetación removida y dispuesta en un alineamiento que sigue las cimas de las ondulaciones, luego al desecarse se quema, con lo cual una nueva modalidad de eliminar la materia vegetal -- probablemente más dañina que la empleada normalmente por el campesino --, ha aparecido.

Si tales materiales se dispusieran sobre las áreas depresivas a manera de barreras transversales contra la remoción y el transporte del sedimento de las áreas desforestadas, además de evitarse su calcinación, con lo cual su transporte se hace menos activo hacia los canales de escorrentía, éstas regularían los flujos, se favorecería la preservación de la calidad de las aguas, los suelos y su protección contra la erosión podría hacerse más efectiva.

Suelos con pocos años de haber experimentado el anterior tipo de manejo evidencian el desarrollo incipiente pero generalizado de erosión, con aparición de canales, grietas y pequeñas cárcavas de alta densidad, no siendo previsible diagnosticar en qué grado y período de tiempo, condiciones más críticas pueden ser alcanzadas.

Una causa que contribuye a este tipo de degradación del suelo es en adición, el uso de la roturadora en la dirección del declive del terreno; especialmente cuando se cultiva maíz y algodón, siendo obvio que siguiéndose los contornos de niveles, el proceso de recogimiento y transporte de las partículas del suelo, así como la acción resultante de la precipitación y el escurrimiento, se minimizan.

Mantener normas reguladoras de efectos detrimentales de este tipo y convencer a los agricultores de las ventajas que tales prácticas conllevan, deben ser medidas a ser implementadas a corto plazo, ello se traducirá en una más eficiente preservación de los recursos en la cuenca y menores daños podrían esperarse en el futuro sobre el mantenimiento de las obras hidráulicas que se acometan, especialmente de los embalses. Tales normas han de ponerse en práctica antes de que enormes extensiones de suelos sean incorporados a la agricultura siguiendo tal tipo de manejo, las que después de varios años de laboreo serían difícil de recuperar y llevarlas a sus primitivas condiciones de estabilidad y desarrollo.



Croquis 1. Disposición de los contornos de roturación recomendados según el declive (.....) de los terrenos y disposición de restos vegetales, luego de la deforestación original.

Estos procedimientos deben introducirse por los agricultores que han hecho intensivo el laboreo agrícola, desarrollando extensiones que pueden catalogarse como "grandes empresas" agropecuarias con cultivos dañinos del suelo (maíz, algodón), de otra forma los efectos detrimentales que pueden de ello derivarse, podrían ser de tal magnitud y hasta irreversibles

que los daños y problemas que tal manejo lleva implícito, se harían en relativamente cortos períodos de tiempo, más dañinos que los creados por los campesinos con su tradicional sistema de minifundio para explotar la tierra. La experiencia de países hoy desarrollados como Estados Unidos de América, que han debido invertir cuantiosas sumas en obras de recuperación de suelos en el Oeste de su país, debido a la carencia de técnicas adecuadas de laboreo en el pasado, es una lección que debe ser aprendida por los encargados de la planificación del uso de las tierras y por los trabajadores del campo.

La importancia de estas estructuras en estos suelos aunque cohesivos, es significativa como un medio de controlar y minimizar el efecto del escurrimiento, pues durante el período lluvioso con precipitaciones de alta intensidad, no estarían exentos de experimentar erosión, o de otra forma, al concentrarse excesivamente el escurrimiento sobre las vías de drenaje en estas áreas de topografía ondulada desprovistas de la vegetación natural, es factible que se produzca el desarrollo de cárcavas, lo que causaría daños al suelo.

Estas estructuras cuando se usen en las planicies fluviales marginales a los cauces, actuarían como reguladoras de la esorrentía, recibirían los aportes sólidos de los canales desbordados durante las avenidas, lo que contribuye a acentuar el proceso natural de sedimentación y formación de los suelos de las planicies y se reduciría considerablemente el transporte del sedimento fino hacia las zonas bajas del río Unare.

Tales terrazas-diques, cuando intercepten contribuyentes menores a los cauces mayores, ejercerían un papel significativo desde el último punto de vista y serían áreas destinadas al aprovechamiento de cultivos estacionales, ganadería y otros renglones no afectados por la persistencia y magnitud de niveles críticos en los canales durante el período lluvioso.

2. EL RELIEVE, LOS SUELOS Y LA MORFOLOGIA DE LOS CANALES

2.1 PATRONES DE DRENAJE

Considerar las formas como se desarrollan las redes de escorrentía y su densificación dentro de las cuencas, es importante no solamente como un medio de diagnosticar donde la erosión ha podido desarrollarse más activamente, sino que ello conduce a establecer inter-relaciones entre factores diversos del medio, relativos a la resistencia de los suelos, grado de concentración del escurrimiento superficial, influencia de la topografía y diagénesis y en casos a detectar cambios o variaciones en las redes y patrones de avenamientos dentro de escalas gradadas del tiempo geológico.

La observación de cómo se han desarrollado las redes naturales de drenaje en la cuenca del Unare, lleva a reflexionar sobre varios aspectos atinentes a su morfología.

En primer término, la cuenca presenta un carácter restringido con un alto porcentaje de áreas onduladas y llanas, su divisoria se desarrolla en tierras donde la pendiente es el principal factor regulador de la orientación de los canales, conjuntamente con el carácter de los suelos superficiales, siendo el gradiente topográfico de la misma en el borde Sur muy leve ($< 10^\circ$) hacia el delta actual del río Orinoco. Dentro de la cuenca es predominante la tendencia centrípeta de los canales a converger hacia el centro de la misma, también es evidente (Mapa No. 4), que aunque es denso y muy uniforme el avenamiento dentrítico, existe una propensión de los canales de menor orden a mantener relativamente cortos desarrollos de sus longitudes, esto se nota además en aquellos que se están formando actualmente en las propias cuestas y escarpas de la divisoria, cuando en general las longitudes de los canales varían entre 5 - 8 Km. Esto indica que conforme se ha ido produciendo el ensanchamiento de la cuenca, el proceso erosional ha sido controlado por los canales mayores, mientras que sus tributarios han avanzado regresivamente con tasas denudacionales poco variables a las originalmente existentes.

Orientaciones similares y sub-paralelismo de los canales a ambos márgenes del río Unare, tal como los mostrados por los ríos Tucupido, Laya, El Pescado en el alto Unare y otros contribuyentes, (Mapa No. 2), indican la influencia del declive general S-E en ambos sectores de la cuenca y la analogía de los procesos denudacionales actuando sobre suelos relativamente homogéneos, pero siempre con el control definido de la topografía.

En el borde oriental de la cuenca el tipo de drenaje se hace paralelo, fuertemente controlado por los declives de las escarpas de las masas, (Mapa No. 6), desarrollándose canales que drenan en un sentido normal o paralelo a la divisoria, resultando en los primeros ratos uniformes de avance de la erosión (Pariaguán-Cantaura) y transformándose este patrón al tipo dendrítico denso, al reducirse las pendientes en las partes inferiores.

Patrones locales degenerados como el observado en el río Güere, tramo inferior, son poco comunes y sugieren poca actividad fluvial o acción de procesos internos como responsables de la deformación del relieve que en este sector se hace fuertemente ondulado.

En la confluencia del Unare-Ipire se desarrollan terrazas de leve altura respecto a las planicies fluviales actuales, lo cual sugiere una tendencia del sistema de drenaje a disectar los depósitos antiguos. Estos materiales no han experimentado las deformaciones observadas en el paisaje colinar adyacente.

Las capturas fluviales dentro del borde inmediato de la divisoria no son aparentes, excepto en un pequeño sector al sur del Socorro, donde el río Quebrada Honda estranguló parte de un tributario del río Ipire, con el cual se observa continuidad de alineamiento.

Esto puede indicar una reducción en la actividad fluvial del río Ipire hacia este sector en comparación a la del Qda. Honda, más si se destaca la notable inflexión de su curso hacia el Este, manteniéndose paralelo a la divisoria, situación que ha podido resultar de la agradación activa del lecho en el cauce principal por sedimentos que han sido incapaces de ser removidos por el sistema de cortos tributarios que drenan el borde de la divisoria. Tal comportamiento y la coincidencia de la orientación del drenaje de todo el sistema de canales que contribuyen a los ríos Aragua, Güere y el propio curso superior del río Unare (Mapa No. 7), llevan a establecer que esta franja representa la zona erosional más activa, carácter reflejado por la orientación y dinámica de los pequeños tributarios, lo cual identifica al eje en cuya orientación muestra la cuenca mayor tendencia de elongación y ensanchamiento.

En el Mapa No. 4 se ilustran con mayores detalles otros sectores con drenaje divergente como en la subcuenca Las Raíces, tributario del Tamanaco; muy difuso en el tramo inferior de este último y el notable contraste en la densidad del drenaje entre dos áreas adyacentes al norte del pueblo de Tucupido, situadas a ambos márgenes del mismo río Tamanaco.

LEYENDA



Mesos



Vegetación



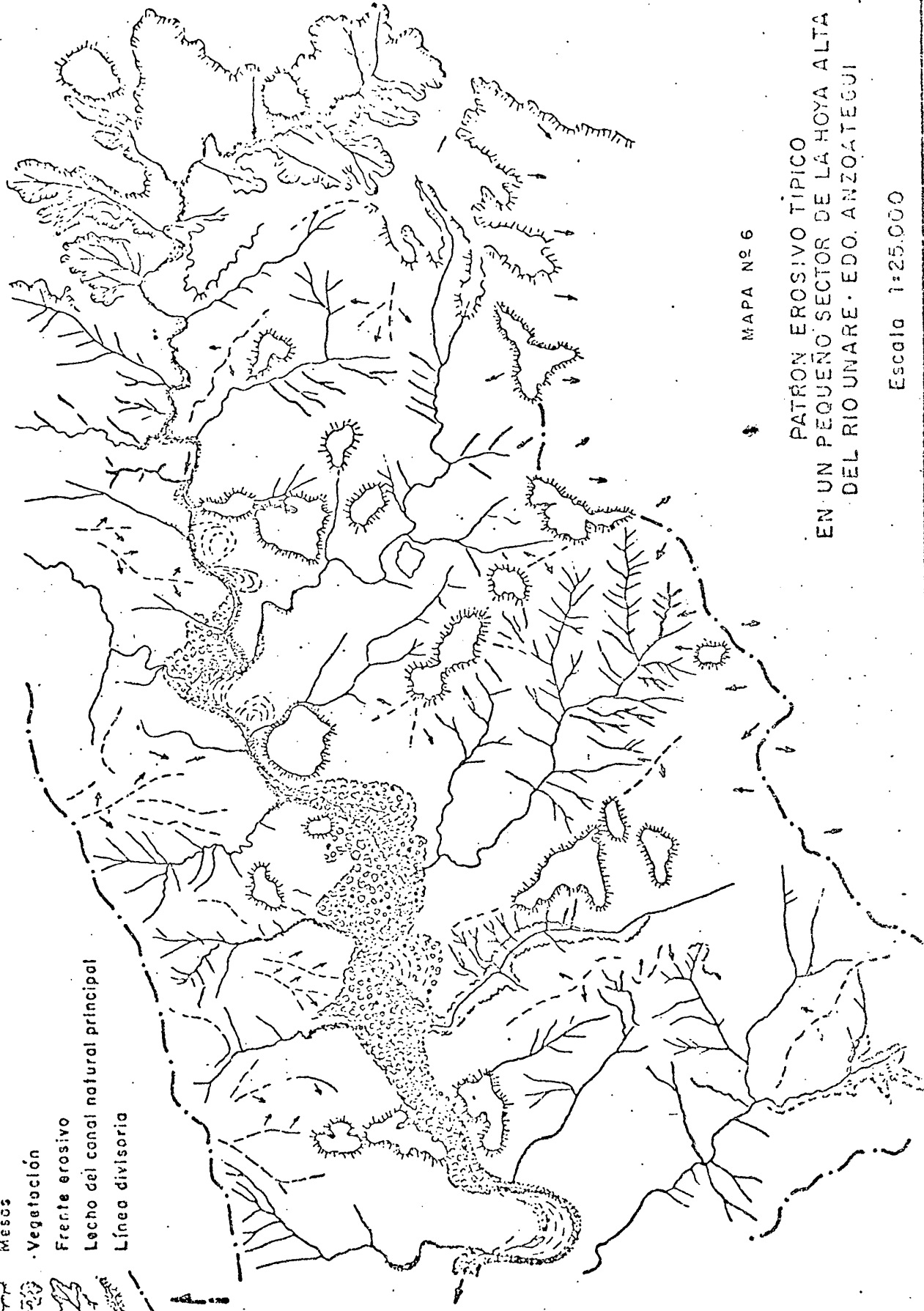
Frente erosivo



Lecho del canal natural principal



Línea divisoria



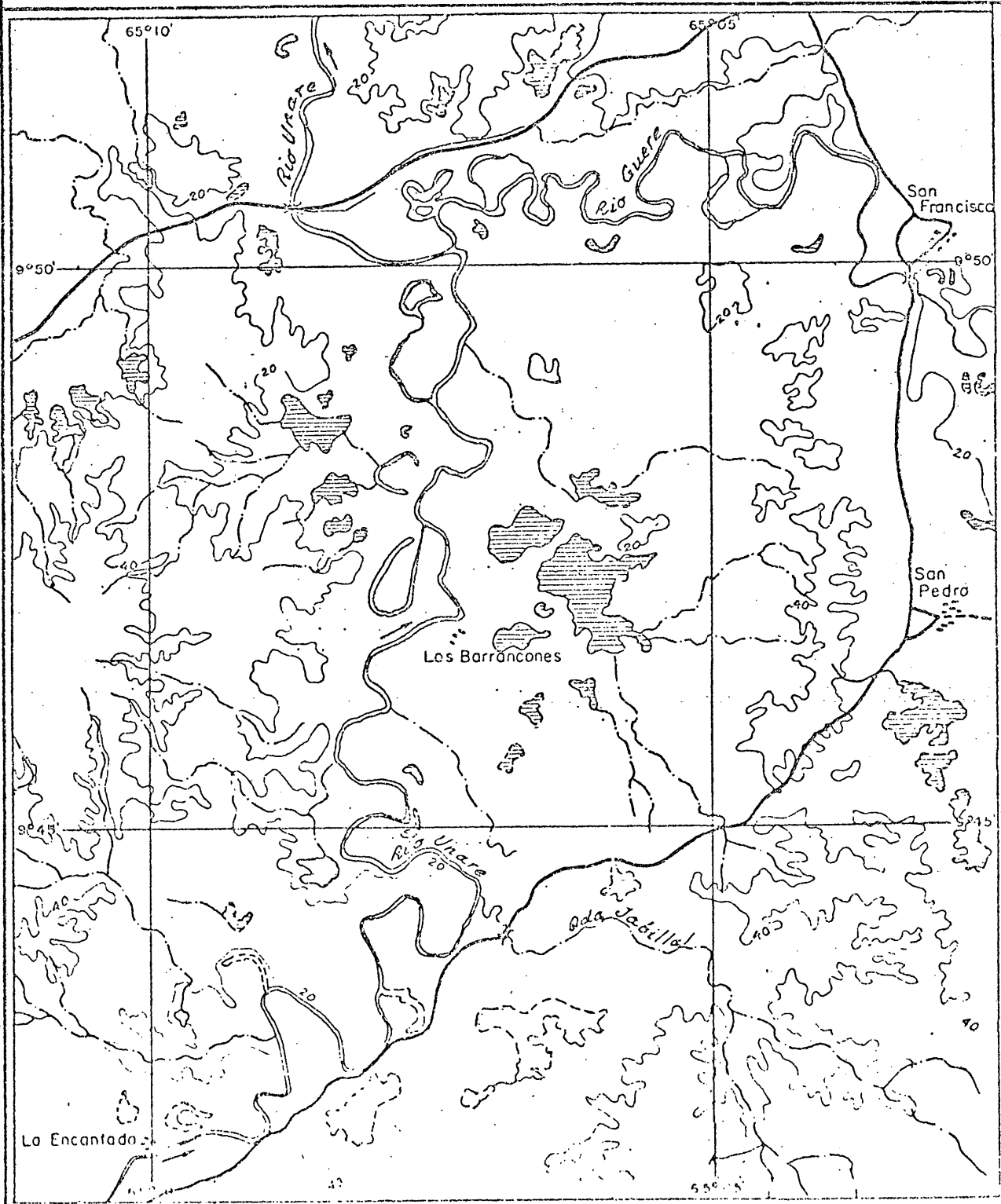
MAPA Nº 6

PATRÓN EROSIVO TÍPICO
EN UN PEQUEÑO SECTOR DE LA HOYA ALTA
DEL RIO UNARE · EDO. ANZOATEGUI

Escala 1:25.000

MAPA Nº 7
 CONFIGURACION DEL TRAMO INFERIOR DEL RIO GUERE
 EN SU CONFLUENCIA CON EL RIO UNARE

-  CANAL NATURAL  20m CURVA DE NIVEL
 LAGUNA PERMANENTE  CARRETERA
 LAGUNA TEMPORAL ESCALA 1:100.000



El tipo difuso de drenaje también ocurre con mucha frecuencia en el tramo medio e inferior del río Güere (Mapa No. 7); particularmente al Norte de Aragua de Barcelona. En estas áreas abundan sedimentos arenosos superficiales de mucha uniformidad de tamaño que parecen más bien haber experimentado una selección granulométrica en forma natural, (conocidos por los lugareños como "medanales").

Se trata de materiales que han resultado de la erosión de antiguos canales naturales erosionados o producto de su desbordamiento (Güere u otros), en el pasado, cuando han podido ser mayores sus capacidades de transporte y los cuales experimentaron escogimiento posterior a la deposición, por acción de la escorrentía superficial o eólica, sobre terrenos de bajo declive.

Contrastes notables en los patrones y densidades de las redes pueden ocurrir localmente. Al Norte de Tucupido en el Guárico central (Sector C, Mapa No. 8), puede identificarse un curioso y abrupto cambio en estas características que pueden obedecer a reajustes recientes en los procesos erosionales condicionados por perturbaciones tectónicas, que han podido contribuir a alterar la posición del nivel de base de los tributarios, determinando una reactivación de la erosión, en consecuencia una mayor densidad de las redes se ha producido.

Utilizando mapas a escala 1:100.000 se han medido densidades de drenaje en varios sectores de la cuenca utilizando cuadrículas de 100 Km² con selección de diferentes patrones, algunos de los cuales reflejan marcadamente la homogeneidad litológica o los cambios de declividad de las capas sedimentarias afectadas por neotectonismo y diagénesis de los sedimentos. Con el propósito de verificar en que grado la selección de escala de los mapas y la elevación del relieve afecta a la densidad del drenaje en algunos sectores, se ha elegido la subcuenca de Qda. Honda y utilizando cartas 1:25.000 dentro de las áreas diferentes de la cuenca, se han deducido incrementos en el orden de 4-5 veces; estos resultados se muestran en la Tabla No. 1.

SITUACION RELATIVA
Y MORFOLOGIA DE DIFERENTES
PATRONES DE DRENAJE
EN LA CUENCA DEL UNARE
SUB-CUENCA TAMANACO

Valle de
La Pascua

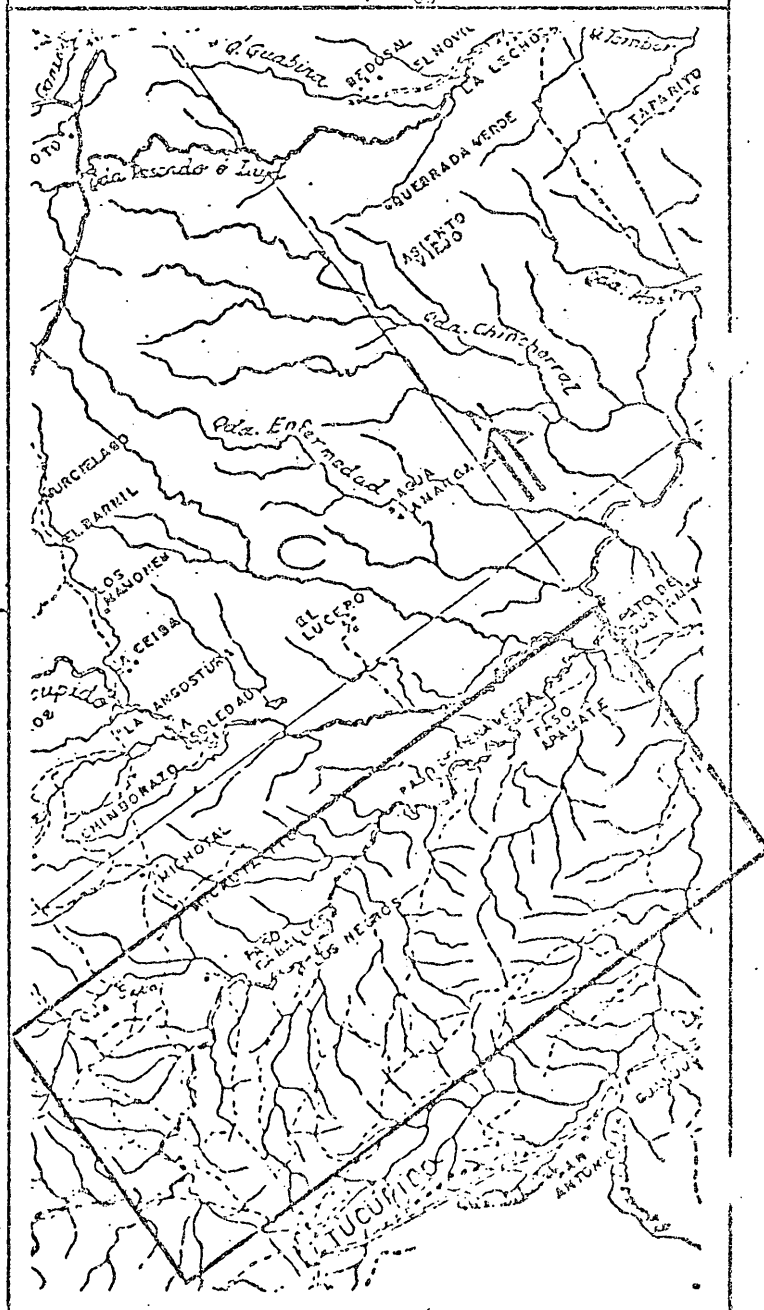
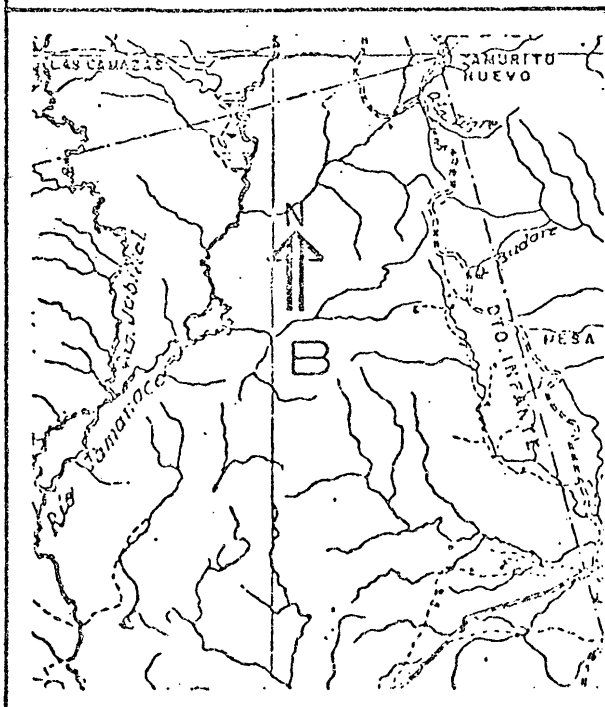
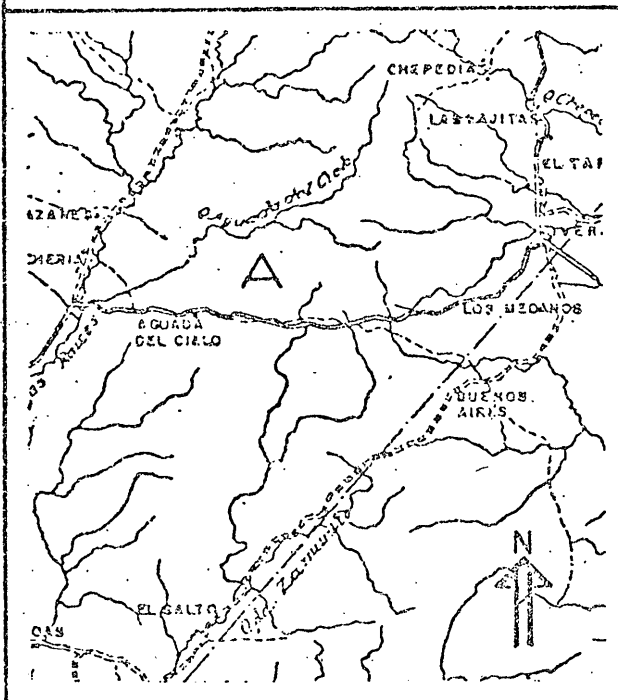
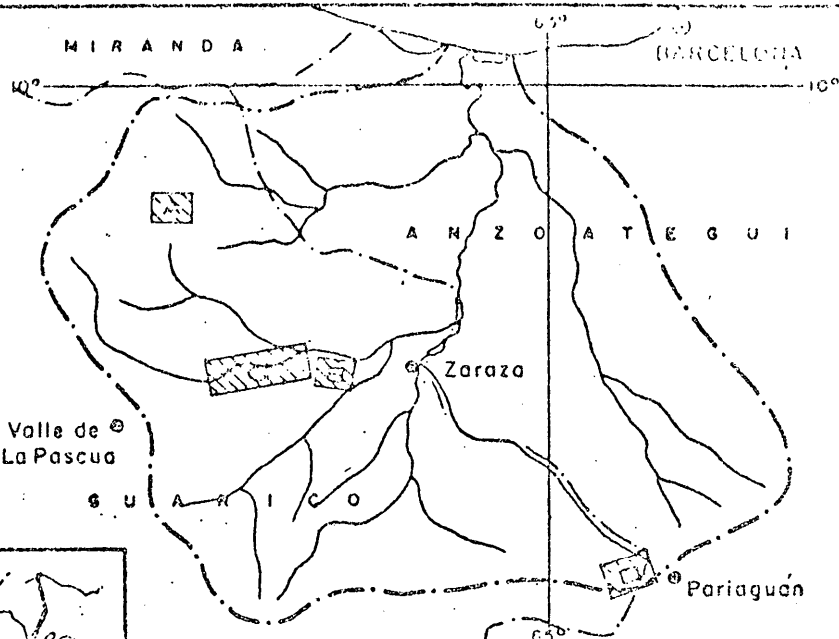


TABLA N° 1

DENSIDADES DE DRENAJE EVALUADAS DE CARTAS 1:100.000 DISTINTAS SUBCUEN-
CAS DEL UNARE.-

(1)	(2)	(3)	(4)
Sub- cuenca	Centro Coord. Geog.	Long. (Km)	Densidad de Drenaje (Km ⁻¹).
Ipire	64°56' - 8°54'	95	0,95
"	65°16' - 8°56'	150	1,50
"	65°20' - 9°10'	190	1,90
Guare	64°40' - 9°14'	126	1,26
"	64°37' - 9°32'	130	1,30
"	64°55' - 9°25'	160	1,60
"	64°50' - 9°35'	130	1,30
Aragua	64°48' - 9°27'	150	1,50
"	64°35' - 9°20'	125	1,25
"	64°26' - 9°16'	110	1,10
Guariba	65°50' - 9°53'	120	1,20
"	65°33' - 9°46'	130	1,30
"	65°18' - 9°47'	105	1,05
Guanape	65°36' - 9°56'	100	1,00
"	65°21' - 9°53'	110	1,10
Tamanaco	65°54' - 9°16'	150	1,50
"	66°03' - 9°45'	100	1,00
Las Raíces	65°54' - 9°45'	135	1,35
"	65°54' - 9°35'	110	2,00
"	65°54' - 9°46'	165	1,65
Qda. Honda	65°45' - 8°50'	120	1,20
"	65°54' - 9°0'	120	1,20
"	65°38' - 9°58'	140	1,40
"	65°42' - 9°7'	165	1,65

* Deducidos en mapas 1:25000

2.2 PAISAJE ONDULADO. DESARROLLO Y EVOLUCION

El tipo de paisaje ondulado o colinar en extensas áreas de la cuenca del Unare* y en particular en casi todas las sub-cuencas centro-occidentales, tiene interés por cuanto esta morfología del relieve permite evaluar la importancia de los factores que inciden en la evolución de las formas superficiales de las tierras. El carácter ondulado del relieve en el mayor porcentaje superficial de la cuenca, es el factor que ha llevado a diferenciarlos de los llanos de Venezuela que bordean la cuenca al Sur, aun cuando muchos otros aspectos del clima y paisaje son comunes a ambos.

* Razón por la cual se clasifican por algunos como llanos ondulados.

La ondulación superficial del terreno junto con evidencias de leves inclinaciones en los horizontes superficiales en depósitos de relleno, cambios de la aptitud horizontal de depósitos fluviales en las planicies de inundación; sugieren sin embargo, que son fuerzas internas en la masa de suelos en adición a las primeras, de gran influencia sobre el modelado de estas formas onduladas en el paisaje.

En el Croquis 2 se ilustra un bloque con señalamiento de las fuerzas laterales, además de las componentes verticales inducidas por esfuerzos que han producido una especie de plegamiento diapírico* en las capas de suelos cohesivos.

El proceso de deformación plástica puede operar en forma gradual con bajas intensidades de deformación a lo largo del tiempo geológico, originando un plegamiento ondulado de carácter regional.

Mientras se produce la deformación superficial de los suelos, la acción erosiva del escurrimiento se manifiesta reduciéndose gradualmente los esfuerzos en profundidad y entre ambos efectos controlan el modelado del paisaje, que ha evolucionado hacia la forma de superficies onduladas con amplitudes en las crestas de hasta 25-30 m y con cárcavas y canales de disección poco desarrollados en las partes depresivas. En ellos sí ocurre la disección vertical por efecto de la concentración de la escorrentía, pero siendo tan pequeñas las áreas de drenaje, el suministro sólido desde los suelos circundantes es relativamente bajo; en otras palabras, la erosión natural laminar es reducida.

La deformación plástica de estos materiales con un declive superficial $-i-$ (Croquis 2a), se puede interpretar considerando la acción de esfuerzos laterales no balanceados sobre un elemento de la masa del suelo sujeto a una condición de oblicuidad $-\phi-$. Así, la relación entre el esfuerzo vertical (Croquis 2a) causado por el peso W sobre un plano paralelo a la superficie del terreno respecto a las presiones laterales, para los casos de empujes activos $-p_a-$ y pasivos $-p_p-$, son:

$$\frac{P}{p_a} = \frac{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{P}{p_p} = \frac{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}} \dots\dots\dots (2)$$

* Plegamiento a escala regional con amplitudes leves de las estructuras geológicas resultantes.

Esta se transforma para una condición horizontal ($i=0^\circ$) del terreno, en:

$$\frac{P}{P_p} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots (3)$$

de forma que a una profundidad de 20 m, por ejemplo, supuesto un peso unitario para el suelo arcilloso γ_s de 2.100 Kg/m³, un declive superficial i de 10° y una condición de oblicuidad ϕ de 30°, normal en un suelo fino arcilloso-limoso, las presiones laterales máximas y mínimas calculadas según (1) y (2) serían del orden de:

$$P_a = 31,2 \text{ Ton/m}^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$P_p = 55,2 \text{ Ton/m}^2 \dots\dots\dots (5)$$

Estas magnitudes de los esfuerzos son obviamente diferentes dependiendo de la profundidad considerada en el suelo y de su grado de isotropía y homogeneidad*, lo que resulta de sus diferencias es lo evidente de que se ha operado en el pasado y/o que ocurra actualmente, una compresión lateral o una expansión vertical, (véase Croquis No. 2), dependiendo de si se tiene la condición pasiva o activa, originándose las deformaciones del suelo superficial o bien el desarrollo de fracturas, cuando se exceda la resistencia o la capacidad de cedencia del mismo.

Una y otra situación ocurren en estas áreas de relieve colinar, siendo entre otros factores modificadores de los esfuerzos mencionados:

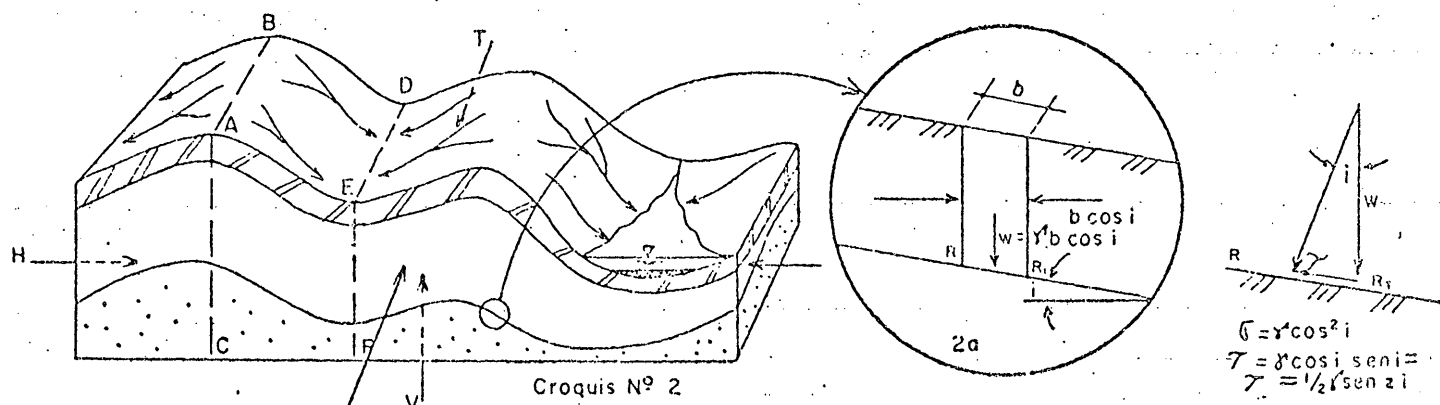
- a. Erosión del terreno muy leve, pero significativo dentro de escalas geológicas de tiempo, lo que altera el balance de los esfuerzos laterales sobre planos horizontales en el subsuelo.
- b. Cambios en el peso del suelo al someterse a variables condiciones del contenido de humedad (tormentas localizadas, chubascos en condiciones de sequía antecedente, etc.).
- c. Esfuerzos capilares que pueden afectar a los diferentes horizontes del suelo, dependiendo del nivel de saturación y de la granulometría del material.

* No se ha considerado en este análisis el efecto de la saturación, sólo esfuerzos intergranulares.

- d. Presencia de grietas y fracturas sub-superficiales preexistentes, las que a su vez dependen de su ocurrencia de tipos y densidad de vegetación, capilaridad de los suelos, etc.
- e. Influencia del tectonismo de áreas distantes, asentamiento gravitacionales de los sedimentos profundos inducidos por fallas, formas del basamento, etc.
- f. Fluctuaciones periódicas y recurrentes del nivel de saturación que origina asentamientos diferenciales en la masa de suelos.

En el frente de la Cordillera de La Costa la acción emergente de las montañas se ha reflejado intensamente en la evolución de este tipo de plegamiento y de deformación, desplazándose los efectos hacia el Sur, donde la ocurrencia de leves asentamientos naturales causados por aumento de las cargas o peso de los suelos debido a depósitos de relleno y la saturación, acción y dinámica de fallas geológicas en los sedimentos profundos o por efecto de la expansión y contracción de los suelos sujetos a períodos alternados de saturación-sequia, han favorecido la ocurrencia de tales deformaciones.

Una fuerte evidencia que resta importancia a la tesis de la acción predominante de la erosión hídrica sobre los suelos superficiales, es que en aquellas tierras en las cuales no se ha preservado o no existe denso desarrollo de la vegetación (sabanas, depósitos antiguos de relleno, etc.), no aparecen manifestaciones activas de degradación, desarrollo de canales, cárcavas y otras formas erosivas, lo cual es indicativo de que un alto porcentaje de los sedimentos más recientes transportados por los cauces principales, provienen de los bordes y contornos de canales naturales.



Croquis ilustrativo de la evolución del paisaje ondulado por acción de esfuerzos internos en rocas sedimentarias no bien consolidadas y en conjunción al efecto de la erosión hídrica. - Escala vertical ampliada.

DEF: plano de máxima compresión lateral
ABC: plano de máxima expansión vertical

2.3 CONTENIDO DE HUMEDAD Y TERMICIDAD EN LOS SUELOS

Existen reducidos puntos de medición de contenidos de humedad y termicidad de los suelos en la cuenca del Unare y más aún considerando materiales de diversa textura con mediciones simultáneas. El Gráfico No. 2 contiene datos de los valores observados en suelos arcillosos muy plásticos en la estación de Valle de La Pascua, marginal a la cuenca donde se han representado valores de la temperatura en Octubre, un mes del período seco y otro húmedo en el intervalo más superficial del terreno. Perfiles para el contenido de humedad considerando mayores intervalos de la profundidad, se han indicado en base a los valores obtenidos en préstamos de la presa El Cigarrón, en la parte central de la cuenca.

Ambos gradientes térmicos se muestran muy uniformes, excepto en los primeros 30 cm del suelo, particularmente en el período seco, determinándose de los valores diarios que las fluctuaciones térmicas alcanzan valores notables en las lecturas correspondientes a los meses de sequía; tal enfriamiento durante la noche y calentamiento durante las horas de insolación, tiene un importante efecto sobre la fijación de estos suelos, que puede además regular su estabilidad y la fijación de agua.

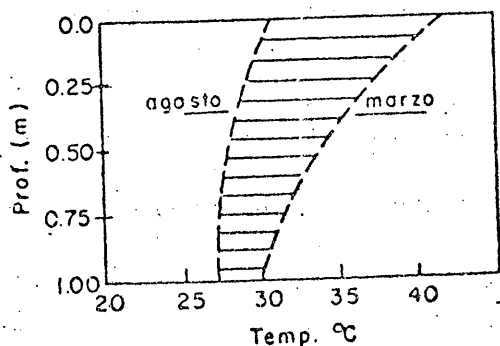
El recubrimiento superficial de los suelos con el follaje de la vegetación decidua, es un factor de regulación térmica durante la estación seca y también atenuadora de la acción de la intensidad de las lluvias durante las primeras tormentas del período lluvioso. Los mecanismos de biodegradación de esta materia vegetal no son bien conocidos, aunque puede asegurarse que el transporte vertical de nutrientes es relativamente escaso a niveles profundos.

Esta delgada costra de materia orgánica tiene también un efecto importante como factor de retención, difusión y fijación del vapor de agua en el nivel superficial del suelo y ello es más efectivo cuanto mayor sea el espesor y el grado de descomposición de la materia vegetal. De aquí, en parte, los contrastes y las especialidades forestales observadas entre las áreas adyacentes a los canales que pueden disponer de una mayor concentración de material húmico, respecto a los suelos marginales a las planicies, donde ellos carecen de un mecanismo de retención y fijación de compuestos orgánicos y otros nutrientes.

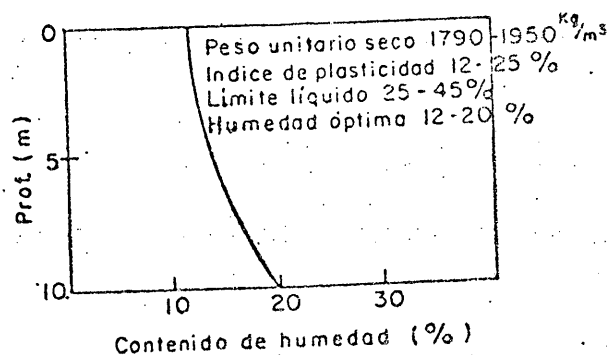
Observaciones geoquímicas indican que dentro de rangos normales de presión y temperatura, la actividad* de muchas reacciones donde interviene el agua como solvente o reactante, se duplican por cada 10° C de incremento de la temperatura, siendo del orden de 20-25° C los rangos diarios con que ésta oscila en la capa más superficial de estos suelos, se puede comprender que los procesos de disolución y transporte vertical (iluvitación) al fijar la humedad, sean importantes en estos niveles superficiales (10 cm). La reducción en el contenido de humedad debido a la alta evaporación y además el continuo y homogéneo perfil vertical del material arcilloso, hacen, sin embargo, que la evolución en profundidad sea muy lenta y retardada, aunque en cortes del suelo con mayor grado de agrietamiento e intersticios secundarios, pueden observarse evidencias de tales procesos, particularmente donde existen materiales que pueden ser removidos y transportados en forma soluble o suspendidos verticalmente, como es el caso de compuestos ferrosos y férricos que originan finalmente coloraciones pardo-rojizas de los horizontes superiores, determinando en algunos sitios aspecto de una falsa laminación en los mismos. Estos mecanismos pueden ser realmente importantes al registrarse las primeras lluvias cuando la fijación de humedad de los suelos es más intensa.

En áreas depresivas sujetas a altas ratas de evaporación, la concentración secundaria de láminas y concreciones de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), en cavidades y fracturas, así como las de óxidos de hierro que aparecen distribuidas en diferentes regiones de la cuenca, especialmente sobre el terreno más superficial, es un reflejo de la disolución-concentración-precipitación de tales compuestos.

GRAFICO Nº 2
HUMEDAD Y TERMICIDAD DE LOS SUELOS-CUENCA UNARE



GRADIENTES TÉRMICOS EXTREMOS EN
EL SUELO SUPERFICIAL (V. DE LA PASCUA)



PRESTAMO DIQUE EL CIGARRON
ESTADO GUARICO

* Probablemente sean mayores en medios tropicales como los nuestros.

En otros sectores de la cuenca como Unare en El Chaparro y tramos más bajos, aparecen láminas de yeso cristalizado de hasta 30 cm de espesor, mostrando estratificación en los suelos superficiales que han debido formarse por precipitación química al desecarse el agua de los ambientes deposicionales. Estas contienen algas y otros compuestos residuales, lo cual sugiere la ocurrencia de:

- a. Concentración de sales en áreas locales por activo lavado de los suelos de la cuenca en el pasado.
- b. Altas tasas de evaporación en zonas de drenaje restringido, en comparación con la infiltración.
- c. Alternancia en la deposición de sales solubles (sulfatos-sedimentos) en los períodos que representan condiciones estables en estos ambientes, respecto a los de suministro de escorrentía con cargas sólidas suspendidas.
- d. Desarrollo de vida acuática.

Muchas de estas situaciones se pueden observar actualmente en cuerpos superficiales de agua dentro de la cuenca, siendo el ion SO_4^{--} en las aguas, un factor determinante de las bajas concentraciones de sólidos suspendidos que se registran en tales almacenamientos (préstamos, lagunas naturales, antepantanos), mientras que él actúa como factor de floculación de las partículas sólidas, lo cual determina su rápido asentamiento. Este mecanismo explica también cómo es además factible encontrar a veces capas y vetas muy delgadas de yeso cristalino, alternando cíclicamente dentro de una gruesa secuencia de materiales finos.

2.4 EVOLUCION GEOLOGICA Y PEDOGENESIS

La formación y evolución de los suelos de estas regiones son diferentes a lo ocurrido en otros suelos de sabanas, como las que bordean y drenan hacia los grandes ríos de Venezuela, básicamente por las diferencias en su composición, textura, ambientes originales de deposición, tipo de manejo-cubierta vegetal, respuesta y comportamiento del material fino ante los elementos climáticos, así como de la composición química-mineralógica de las fases sólido-líquida.

El relleno sedimentario activo sobre zonas depresivas en áreas de reducidas pendientes y deficiente drenaje, determinó gruesas acumulaciones de sedimentos finos cuya posterior compactación y consolidación en sucesivos y alternados ciclos en la estacionalidad de períodos secos-húmedos, produjo características muy particulares en estos depósitos. Así, mientras la región ocupaba el centro de una cuenca restringida, bordeada por cordilleras en emergencia (bordes de la cosa, desde el Terciario) y el Macizo de Guayana estable al Sur, es explicable que no sean abundantes las fracciones gruesas de arenas y otras fracciones de minerales pesados. Es factible, sin embargo, que tales materiales finos dentro de áreas con gradientes fluviales y topográficos no bien definidos, hayan experimentado ciclos diversos de retransporte y acumulación en respuesta a los procesos orogénicos marginales. Datos de perforaciones de pozos a diferentes profundidades y en distintas zonas de la cuenca, muestran la existencia de áreas restringidas con elevadas concentraciones de sales que evidencian la deficiente recirculación hídrica y la evaporación activa en estos medios.

A partir del Cuaternario, cuando la biestacionalidad climática se hizo más acentuada bajo condiciones del drenaje superficial más activas, entonces el lavado, desbasificación y movilidad de aquellos componentes solubles como sulfatos, sílice y alúmina a partir de los suelos, se ha acelerado. El Fe bajo un ambiente más oxidante precipitó en forma de óxidos y compuestos complejos, originando los colores amarillos-rojizos tan característicos de estos materiales.

La concentración preferencial de la materia orgánica en las zonas depresivas (planicies, lagunas marginales a los cauces, madres viejas, etc.), contribuye a la estabilidad del Fe y Al y a su permanencia en el perfil del suelo. En las áreas elevadas con una menor actividad biológica (pobre cubierta vegetal, reducido efecto de la microflora), y el intemperismo químico acompañado de la acción de la radiación solar, que origina rápida desecación. El comportamiento del Fe es diferente y como resultado de su precipitación se produce una mayor cementación de los agregados y partículas de suelo. Ello a su vez reduce la capacidad de infiltración, aunque no llegan a desarrollarse módulos o costras ferríferas, situación normal en otros suelos de sabanas con textura más gruesa y donde el balance hídrico y acreación del perfil es más activo.

Al actuar la erosión sobre el perfil del suelo, la movilidad del hierro en un sentido vertical prosigue controlada por los mismos factores, hasta alcanzar a través del escurrimiento a los cauces donde es más activa su migración. (Detalles adicionales sobre hidroquímica se analizarán posteriormente.)

2.5 EFECTOS DEBIDOS A CAPILARIDAD EN LOS SUELOS

En terrenos de relieve con estas características formadas superficialmente por suelos finos homogéneos, al fijarse la humedad se desarrollan meniscos capilares que pueden alcanzar valores de elevación $-h_c$ tan altos como:

$$h_c = \frac{2 T_s}{r_c \gamma_w} \cos \alpha = \frac{2 \times 0,073 \text{ gr/cm}}{1/4 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \times 1 \text{ gr/cm}^3} = 584 \text{ cm} \dots (6)$$

donde:

T_s = tensión superficial en el agua a 20° C.

α = ángulo que forma la dirección de la tensión T_s con la pared del menisco, para el agua $\cos \alpha = 1,0$.

r_c = radio medio de los capilares en materiales muy finos, adoptándose $r_c = 0,25 \mu\text{c}$.

γ_w = peso unitario del agua.

Así, un grueso intervalo del espesor superficial de los suelos en la zona capilar se encuentra sometido a tensión. Estas fuerzas transmitidas por acción capilar producen valores de presiones al nivel de saturación en los suelos de:

$$P_s = -\gamma_w h_c = 10^3 \text{ Kg/m}^3 \cdot 5,5 \text{ m} = 5,5 \text{ Ton/m}^2 \dots \dots \dots (7)$$

y mientras las presiones de confinamiento sobre planos horizontales a profundidades dadas del suelo son variables de acuerdo a las irregularidades topográficas, éste se encuentra soportando esfuerzos de magnitudes variables según el nivel de saturación en la masa de materiales suprayacentes, lo cual lleva a producir compactación y consolidación acompañado de deformaciones plásticas y desarrollo de grietas. Un mecanismo de este tipo puede ser realmente importante en suelos finos sujetos a periodos alternados de sequía-humedad, como ocurre con los de la cuenca de Unare.

Una condición particular en los suelos arcillosos resulta al desecarse éstos y ser sometidos a principios del periodo lluvioso a la acción de chubascos intensivos de corta duración, en los cuales se origina la evaporación desde la capa más superficial a partir de meniscos capilares que determinan esfuerzos tensionales cuya interacción, subsecuentemente, contribuye a desarrollar patrones y formas de fracturas dentro de diferentes escalas de tamaño. Lo anterior es afectado ade-

más por las condiciones térmicas del suelo y el grado de protección vegetal. A fin de que se haga efectiva la evaporación desde la superficie del agua (meniscos capilares), la tensión de vapor en la zona aireada en la interface, debe ser menor o alcanza un cierto valor que depende de la tensión en el agua. Esto es, si la humedad relativa en el aire sobre una superficie líquida es menor que 1,0, habrá evaporación hasta que la humedad relativa en el aire - τ_s - sea igual a 1,0 o hasta que todo el agua se haya evaporado. Pero si el agua está bajo una condición tensional como ocurre en los meniscos capilares, la evaporación cesa a un valor más bajo de la humedad relativa. A este valor se conoce como la tensión relativa de vapor del agua - h_s -, y existe una relación entre los esfuerzos intersticiales - τ_w - transmitidos por el agua y h_s dentro de rangos normales de temperaturas. Esta es de la forma:

$$h_s = -1.500 (1 - \tau_s) (T_{on}/m^2) \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{siendo } \tau_s = \tau_w \text{ (condición de equilibrio)} \dots\dots\dots (9)$$

para esta región donde $100 > \tau_s > 25 (\%)$, se tiene según (8)

$$\text{que: } h_s > p_s \dots\dots\dots (10)$$

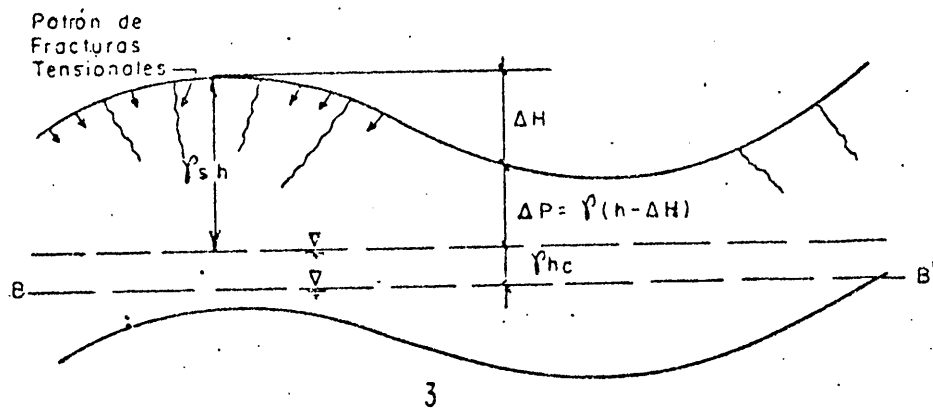
Situación ésta natural cuando los suelos son sometidos a la acción de lluvias como las descritas y lo cual incide favorablemente en la formación de fracturas que ulteriormente contribuyen a activar la formación de pequeños canales de escorrentía, favoreciéndose la erosión y la infiltración en los suelos.

Una causa por la cual no se observan alturas capilares en suelos muy finos tan altos como los deducidos teóricamente según la ecuación (6), pueden obedecer a que la rata de evaporación desde el suelo es suficientemente alta (ecuación (8)), como para evitar que los niveles de saturación excedan un valor límite máximo que depende de la consistencia y otras propiedades del material (porosidad, permeabilidad, tiempo y grado de saturación, presencia de vegetación, contenido de materia orgánica, grado de aireación, contenido de sólidos solubles y temperatura del medio agua-suelo), lo cual controla la difusión de vapor de agua en la interfase. Procesos de concentración, precipitación y transporte de sólidos solubles y suspendidos a través del nivel más superficial del suelo, contribuyen a dar coloraciones variadas a estos niveles, el mecanismo es controlado por acción capilar en microporos y pequeñas cavidades.

Variaciones en las tonalidades (rojizo, pardo, amarillento) del horizonte A del suelo, se interpreta como resultado de la iluviación (infiltración vertical del agua arrastrando partículas coloidales y arcillosas) y de la precipitación de óxidos e hidróxidos de hierro en este horizonte, favorecido ello por la existencia de grietas, fisuras y poros de interconexión. Tratándose de suelos muy finos, es evidente que fenómenos de capilaridad sean altamente responsables de estos mecanismos de transporte y distribución de compuestos solubles, más aún si se consideran las altas variaciones de los niveles de saturación del suelo, durante alternados períodos secos-húmedos.

No se detectan en la cuenca procesos de subsidencia vertical de los suelos o asentamientos causados por el lavado de las fracciones finas. El mecanismo de inestabilización es más importante en los bancos de canales o frente erosionales en escarpas, tales como los observados en materiales finos de los bordes de las mesas al Sur de Anzoátegui (cabeceras del Unare), donde el paisaje adopta aspectos de "badlands" y alta erosionabilidad.

La variación en los esfuerzos y tensiones capilares en suelos de más gruesa granulometría (Ecuación (6)) como los que existen en la formación Mesa (Estado Monagas, Sur de Guárico y Anzoátegui), son menos significativos y ellos explicaría parcialmente el hecho de las menores deformaciones del relieve, notándose que en estas áreas la configuración del paisaje, a veces altamente erosionado y encarpado en sus bordes, releja más bien el efecto de la erosión hídrica o la acción gravitacional sobre derrumbes y asentamientos en masas de suelos finos, sujetos a variables grados de saturación y a la acción de la escorrentía. Comportamientos de estos materiales responden a cambios texturales y a la forma como el agua es fijada por las partículas del suelo, lo cual contribuye a crear esfuerzos de diversa naturaleza, desarrollar distintos grados de estabilidad y ello a su vez puede operar distintivamente según se trate de materiales dispuestos en los bordes de los canales, las planicies fluviales o los suelos superficiales de las cuencas.



Croquis No. 3. Patrones de fracturas observados y esfuerzos verticales sobre un plano horizontal en una sección típica de relieve ondulado. La posición del nivel de saturación es ilustrativo.

2.6 SECCIONES TRANSVERSALES EN LOS CANALES

Comparar las formas geométricas de las secciones en cauces de similares longitudes que drenan el borde de la cuenca, sirve para establecer grado de resistencia de los suelos, lo que puede indicar diferentes formas deposicionales o de transporte bajo condiciones fisiográficas y climatológicas similares o no.

Los cauces tributarios al Unare por la margen derecha disectan suelos y desarrollan sus secciones en materiales donde la fracción arenosa abunda más que en otros sectores. Las pendientes son reducidas y las relaciones ancho/profundidades son superiores a los canales de la margen izquierda. Las secciones de éstos últimos se desarrollan en suelos cohesivos y exhiben una mayor tendencia a disectar verticalmente los aluviones y rocas antiguas.

Canales como el de Quebrada Honda, Tucupido y el propio Unare a partir del tramo medio, desarrollan secciones encajonadas con gruesos espesores de suelos finos en sus taludes, los que adoptan aptitudes verticales.

La Tabla No. 2 muestra la identificación correspondiente a la sección del canal, el área drenada de la cuenca, la longitud del cauce, las áreas de las secciones rectas de los canales y la relación área/ancho de la sección; el cual es un indicio de la velocidad de disección del río en ese tramo. (Véase Mapa No. 1).

TABLA N° 2

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES INDICADAS EN LOS CANALES DE LA CUENCA DEL RIO UNARE

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Sección (Mapa 1)	Area de la cuenca (Km ²)	Longitud (Km)	Area Sección (m ²)	Ancho Tope (m)	Area Sección ancho tope (m)	Area Cuenca Long. canal (Km)
14B	380	35	115	68	2,20	10,8
13B	490	40	105	80	1,32	12,3
11B	305	30	40	45	0,89	10,2
10B	245	20	-	-	-	12,3
5B	460	22	50	60	0,83	20,8
4B	235	20	-	-	-	11,7
3B	265	18	45	30	1,15	14,7
2B	150	10	-	-	-	15,0
1B	360	40	100	55	1,82	9,0
3A	410	22	30	55	0,55	20,2
4A	-	5	60	-	-	-
5A	250	22	182	75	2,42	11,5
12A	581	28	172	60	2,86	21,4
8A	11400	130	210	80	2,64	88,0
7B	10670	100	250	75	3,32	106,7

En la mayoría de los canales la relación área de la cuenca/longitud del cauce, se mantiene casi constante dentro del valor de 15 Km, siendo los rangos mayores en la geometría de la sección para las secciones correspondientes a los cauces principales. Los cursos cuyas vertientes drenan el borde Sur y Sur-Este, atraviesan suelos arenosos con mayores capacidades de infiltración y percolación vertical, siendo graduales sus declives y aunque se desarrollan escarpas en los bordes

GRAFICO N°3



Grade	Area sq
1st	93
2nd	97
3rd	93
4th	134
5th	173
6th	43
7th	200
8th	254
9th	40
10th	105
11th	110
12th	63

de las mesas, éstas exhiben muy leves gradientes topográficos. Así, ambos factores impiden que se produzca una alta concentración del escurrimiento superficial, lo que a la vez se traduce en menores transportes sólidos.

En el sector occidental de la cuenca y en el tramo medio y bajo del Unare, los materiales disectados son predominantemente finos, cohesivos, con bajas permeabilidades, lo que al contrario del primer sector, favorece una mayor concentración del escurrimiento en los canales y se traduce en un incremento de caudales y también del poder erosivo de la escorrentía; ésto ayuda a explicar la razón por la cual la morfología de estas tierras es más accidentada y la densidad de drenaje más concentrada que respecto a las anteriores. La construcción de embalses, particularmente en dichas áreas, propendería a reducir la erosión en los canales en virtud de la regulación de los altos caudales, pero el factor de persistencia de los mismos, debido a la descarga continua desde ellos, afectaría a los suelos finos en el período seco en adición a la erosión normal del período lluvioso. Una situación diferente a la natural en los canales, puede producir efectos y alteraciones difíciles de ser evaluadas y cuantificadas ahora satisfactoriamente.

2.7 PERFILES LONGITUDINALES DE LOS CAUCES

Los Gráficos Nos. 4 y 5 muestran los perfiles longitudinales del río Unare y algunos de sus más importantes contribuyentes, tanto de los que drenan el borde Norte como los de la parte meridional y oriental de la cuenca. Destaca la posición del perfil del río Tamanaco con una sobre-elevación respecto al resto de contribuyentes, así como el paralelismo y similar tendencia mostrada por las curvas del Unare y Quebrada Honda. En los últimos 100 Km es además notoria la continuidad del perfil longitudinal entre los cursos de los ríos Tamanaco-Unare, en contraste con el cambio topográfico que experimenta el resto de contribuyentes. Dada la similitud de extensión de la mayoría de los tributarios al Unare (150-180 Km), a excepción del Tamanaco, se han preparado perfiles adimensionales incluido el de éste, que permiten comparar los cambios en la configuración topográfica de los cursos naturales al variar el desarrollo longitudinal del canal. Puede observarse que los cursos que se desarrollan en áreas distintas de la cuenca, como el del Güere-Quebrada Honda y el Guaribe-Tamanaco, a su vez, con características fisiográficas y geológicas tan disímiles, pueden presentar desarrollos de sus longitudes relativas a alturas relativas similares. La primera coincide en las cuatro subcuencas del Unare consideradas a un

MAPA N° 9

Subcuencas Laya y El Pescado.
 Hidrografía y Perfiles Longitudinales
 (A) AREA = 250 Km² LONGITUD = 40 Km.
 (B) AREA = 250 Km² LONGITUD = 60 Km.

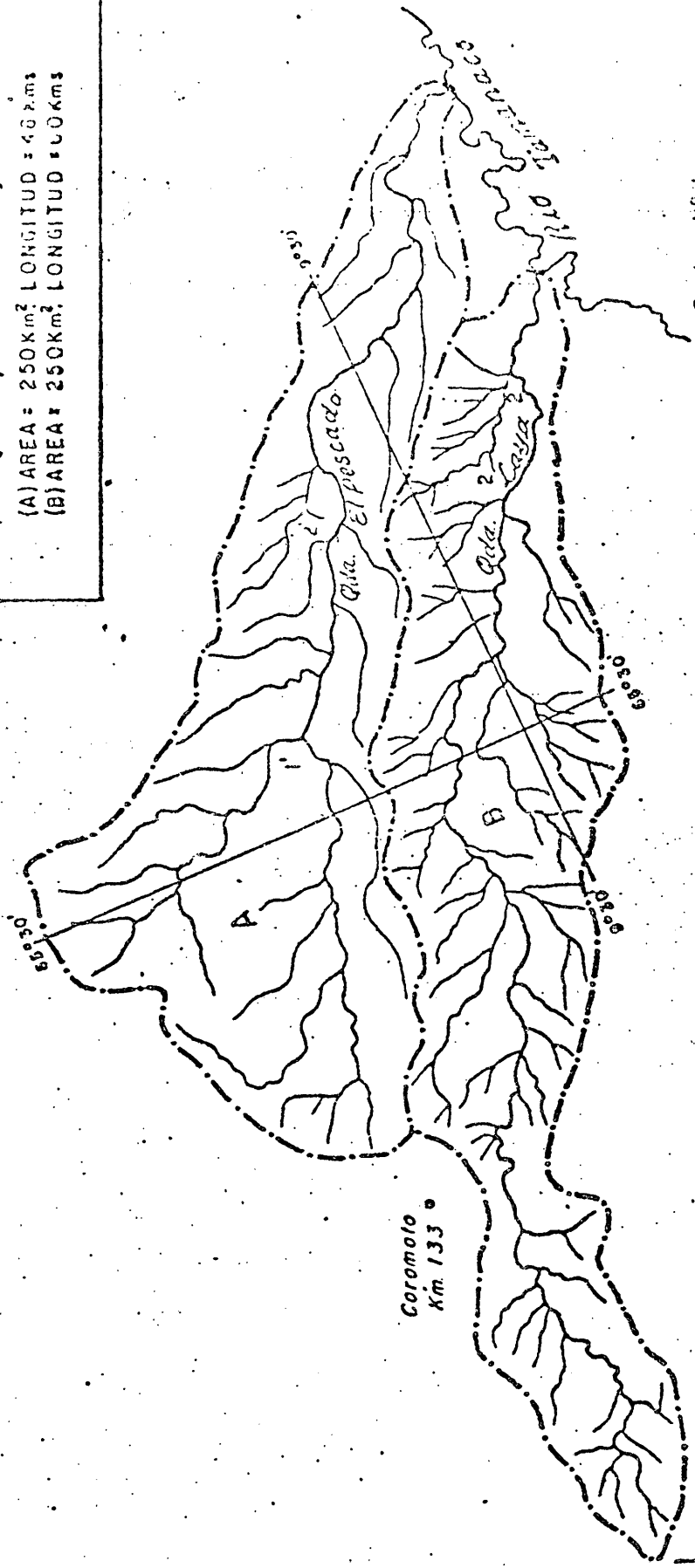
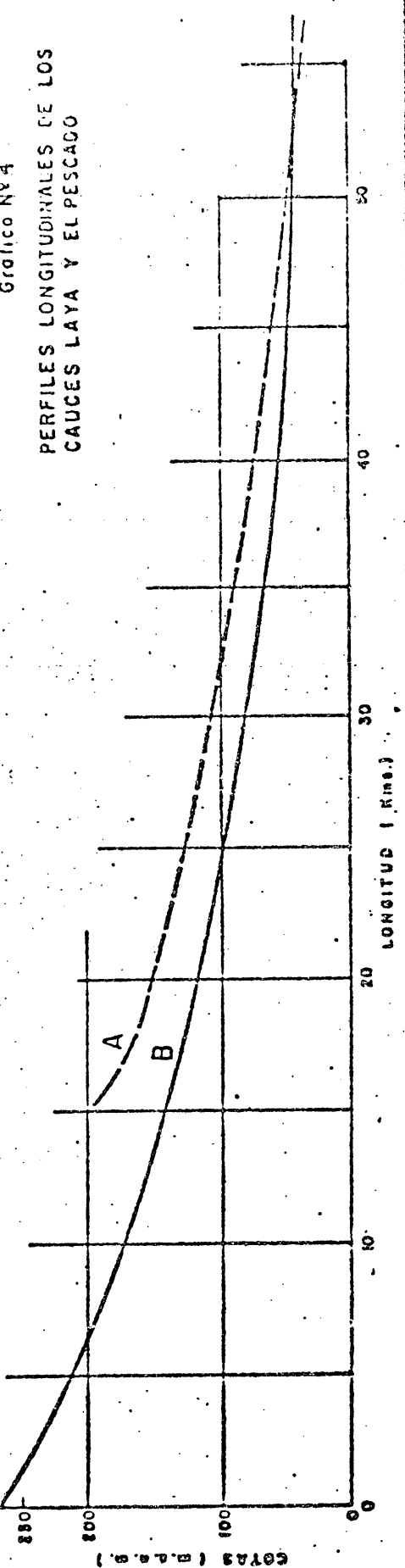


Gráfico N° 4

PERFILES LONGITUDINALES DE LOS
 CAUCES LAYA Y EL PESCAO



70-75%, aunque existen contrastes entre las configuraciones resultantes de estas curvas, entre la del río Guaribe (175 Km) y Güere (180 Km), que drenen áreas geológicamente tan distintas, existe una razón entre las áreas drenadas de 3/1 y ambas están encerradas por diferentes contornos topográficos, siendo sus perfiles muy similares o cotas inferiores a los 280 m/n.m.m.

Perfiles longitudinales de los cauces de dos tributarios del río Tamanaco, se muestran en el Mapa No. 9. Ambas subcuencas presentan idénticas áreas de drenaje y sus niveles de base locales permanecen a elevaciones poco discrepantes.

La configuración de estos perfiles es como ocurre normalmente en las cuencas naturales - más bajo en el canal de mayor longitud -, observándose en la de Laya, además, un mayor desarrollo de la densidad de drenaje, aunque con gran similitud en las tendencias erosionales exhibidas por ambas cuencas, especialmente en las bifurcaciones principales. La posición más baja del perfil en el Quebrada Laya origina una mayor disección por parte de sus tributarios que desarrollan menor longitud, así, considerando la influencia de factores fisiográficos solamente, pueden inferirse respuestas diferentes de cada cuenca, en lo que respecta a erosión, transporte sólido y generación del escurrimiento.

Se señalan adicionalmente algunos perfiles de cauces contribuyentes al Tamanaco, como el de Jabillal y Tucupido en la parte central de la cuenca, (Gráfico No. 5).

El borde meridional de la divisoria de la cuenca de Unare se muestra con un perfil ascendente a partir de las cabeceras de Quebrada Honda, hasta alcanzar las elevaciones máximas en los alrededores de Pariguaná sobre la Mesa de Guanipa, donde después de alcanzar las mayores elevaciones, comienza el gradiente topográfico gradualmente a descender con leve inclinación hacia el delta del Orinoco, sobre el Atlántico. Así, este contorno es depresivo respecto al resto de la divisoria y el leve desnivel existente entre esta cuenca y la vertiente del Orinoco inmediatamente al Sur, es lo que ha hecho postular a algunos geólogos la hipótesis de que en el pasado un brazo deltaico del gran río haya podido drenar hacia el Mar Caribe vía río Unare, a través de una interconexión fluvial con el río Zuata, que sigue un alineamiento (NE) coincidente con los vestigios erosionales de la formación Mesa en este sector; si bien, dentro del desarrollo actual del sistema de canales de la cuenca del Unare, ni la configuración actual del drenaje superficial, ni la existencia de gruesos depósitos de relleno existentes en el subsuelo (?), que evidencie

GRAFICO Nº 5

PERFILES LONGITUDINALES NORMALES Y ADIMENSIONALES
PARA DIFERENTES TRIBUTARIOS DEL RIO UNARE.

— PERFIL LONGITUDINAL DEL CANAL PRINCIPAL

- - - OTROS CONTRIBUYENTES

TAMANACO

GUARIBE
COTA 825

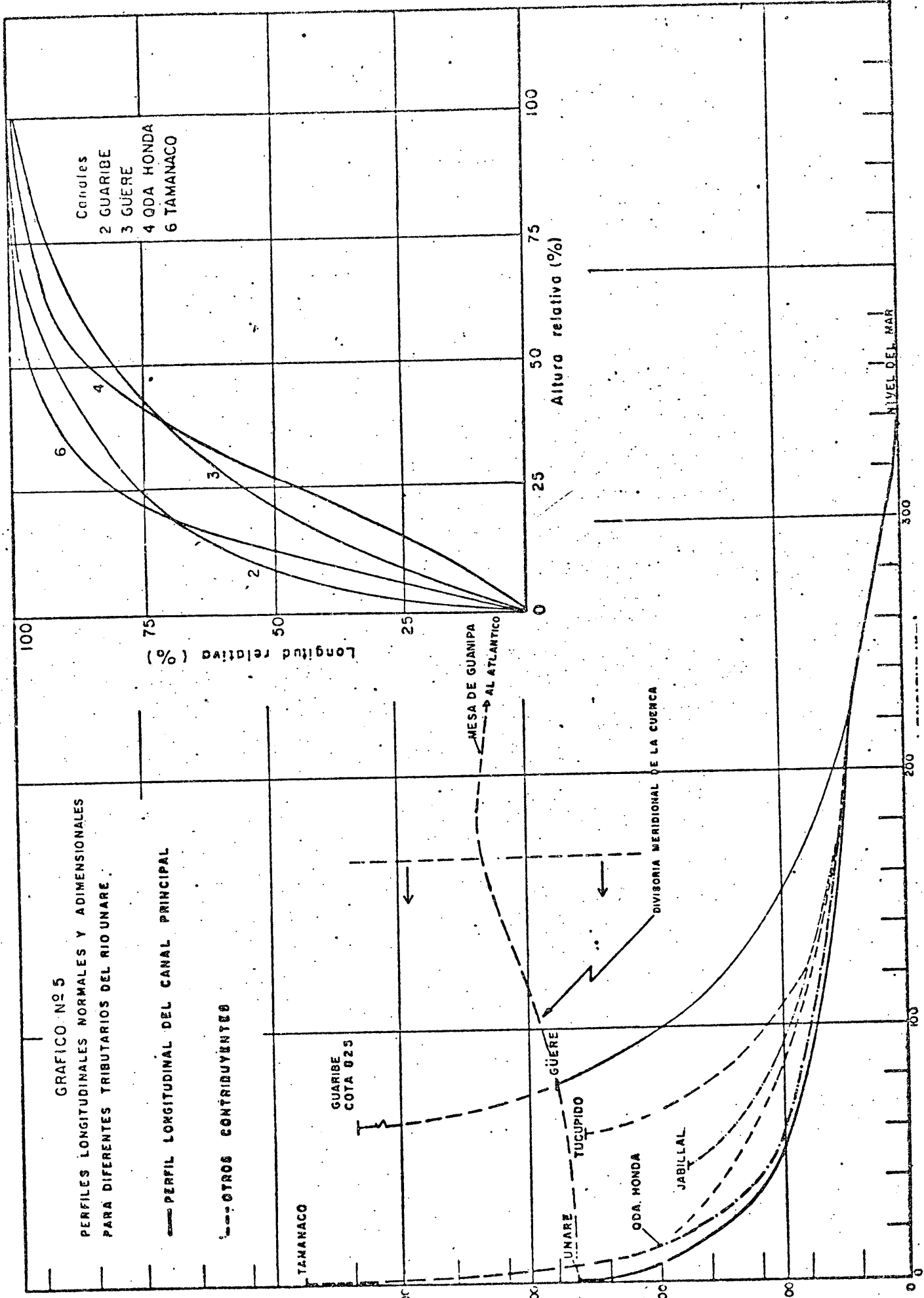
TUCUPIDO

QDA. HONDA

JABILLAL

DIVISORIA MERIDIONAL DE LA CUENCA

MESA DE GUANIPA
AL ATLANTICO



una mayor actividad fluvial en tal condición, pueden servir de fundamentos para confirmarla.

Lechos fluviales antiguos, formados por conglomerados ferruginosos con ciastos y gravas cuarzosas, existen a niveles superficiales al Sur del pueblo de El Chaparro, con alineamientos y espesores que pueden llevar a inferir alineamientos preexistentes en los canales distintos a los actuales. De otra parte, la naturaleza litológica de estos depósitos, llevan a sugerir fuentes de suministro asociadas al Escudo de Guayana y ellos han debido representar a brazos o interconexiones fluviales del delta del río Orinoco en los bordes del Escudo, en estados previos de su desarrollo.

2.8 RELACION AREAS DRENADAS VS LONGITUDES DE LOS CANALES

El Gráfico No. 6 muestra la relación entre las áreas de drenaje -A- en Km^2 y las longitudes de los canales más importantes contribuyentes al Unare. No han sido considerados los tributarios menores. Las subcuencas que drenan el borde nor-occidental, presentan una correlación bien definida con una relación de proporcionalidad a escala logarítmica que puede expresarse en la forma:

$$L \propto A^{1/3} \dots\dots\dots (11)$$

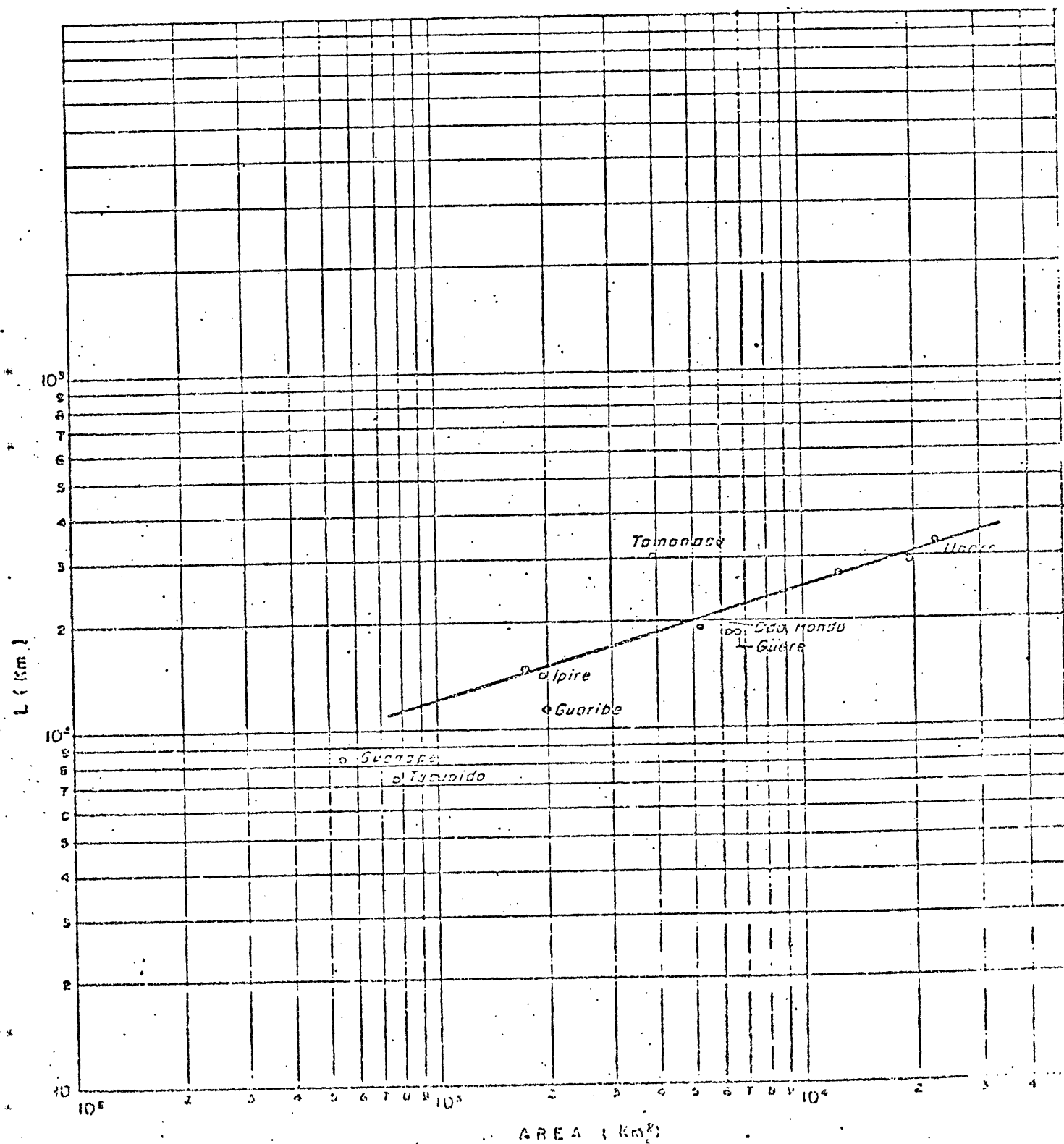
$$L = 14 A^{1/3} \dots\dots\dots (12)$$

Esta expresión señala dos hechos interesantes: Primero, se deduce que para mantener un Km. de longitud del cauce principal, es necesario el aporte promedio de 14 Km^2 de área contribuyente, lo cual representa un alto valor respecto a los encontrados en otras cuencas de relieve más accidentado. Situación más resaltante aún si en lugar del Unare se toma al río Tamanaco como el de mayor longitud dentro de la cuenca. Y, segundo, al contrario de la mayoría de las cuencas con sedimentos erosionables y con más accidentada topografía, cuya tendencia es a experimentar una elongación en el sentido del eje de drenaje principal, en la del Unare la denudación geológica refleja una simetría centrípeta respecto al centro de la hoya (valor del exponente $n < 0,50$ en 12), indicando a la vez un ensanchamiento en sentido normal al eje de drenaje principal definido por el río Unare, situación atribuible a probables procesos de subsidencia muy graduales en el centro de la cuenca (sedimentos profundos) y a levantamientos epirogénicos recientes en el borde meridional, que han afectado a los depósitos cuaternarios, principalmente de la formación Mesa.

GRAFICO Nº 6

RELACION ENTRE LA LONGITUD DE LOS CANALES Y LAS AREAS DE DRENAJE

- VALORES ACUMULATIVOS SOBRE EL CAUCE DEL UNARE
- VALORES PARTICULARES PARA LA SUBCUENCA INDICADA



El progreso de la erosión es tal que una alta simetría circular se produce en la configuración formal del borde meridional de la cuenca de Unare y ello se mantiene acentuadamente con respecto al eje de mayor elongación. Así, por una simple relación geométrica aplicable al contorno de la divisoria, se verifica:

$$\frac{A}{D^2} = \frac{\pi}{4} = 0,785 \dots\dots\dots(15)$$

y considerando la variación del área con respecto al diámetro como una indicación del factor de mantenimiento en la longitud del (o los) cauces que drenan hacia el punto central de convergencia, se tiene:

$$\frac{1}{D} \left(\frac{dA}{dD} \right) = 1,50 \dots\dots\dots(14)$$

Establecer si para diversos estados de desarrollo de la cuenca tal relación, dentro de limitados rangos de relaciones (A/D^2), se han mantenido, no es posible; aunque puede inferirse que ello no sería descartable al considerar que los niveles altitudinales más bajos, por ejemplo: 50, 100, 120 m/n.m.m., mantienen una gran concentricidad y sub-parallelismo con la divisoria actual, lo que confirma que la tendencia denudacional a escalas mayores del tiempo geológico, han sido relativamente uniformes en los bordes y sólo signadas por más recientes procesos de capturas fluviales, como el caso descrito al principio de la subcuenca de Tamanaco.

2.9 RELACION ENTRE LAS AREAS DE DRENAJE, LAS LONGITUDES DE LOS CANALES Y EL CAUDAL MEDIO DE AVENIDAS

Siendo el caudal líquido una importante variable hidrológica relacionada con otras de naturaleza fisiográfica, se muestra en el Gráfico No. 7 la relación entre las superficies drenadas (Km^2) para las distintas subcuencas con el Q^* que representa el caudal medio (m^3/seg) de crecientes anuales en las estaciones indicadas y los cuales se han deducido a través de análisis de frecuencia.

Las áreas de subcuencas corresponden al rango de 200-22.500 Km^2 , obteniéndose una relación de la forma:

$$Q^* = 4 A^{0,48} \dots\dots\dots (15)$$

lo que indica que este caudal varía en forma proporcional a la raíz cuadrada del área de drenaje aproximadamente, por lo que usando además la expresión (12), se tiene:

$$Q^* \approx \frac{2}{7} L_c A^{1/6} \dots\dots\dots (16)$$

Si se considera adicionalmente que el factor de forma -Ff- de las cuencas se expresa como:

$$Ff = \frac{A}{L_x^2} \dots\dots\dots (17)$$

Habiéndose encontrado de mediciones geométricas de subcuencas elongadas con áreas relativamente pequeñas de drenaje ($A < 500 \text{ Km}^2$) que:

$$L_c = K L_x^{0,60} \dots\dots\dots (18)$$

entonces puede expresarse el caudal Q^* en la forma:

$$Q^* = K_1 L_x^{3/5} (Ff L_x^2)^{1/6} \dots\dots\dots (19)$$

Ecuaciones como estas en las cuales se relacionan otras diversas variables hidrológicas y físicas de las cuencas, se intentaron establecer a través del uso de técnicas de correlación múltiple, pero no fueron deducidas expresiones consistentes, debido tal vez a la corta extensión de los registros, dificultades para utilizar períodos comunes y ausencia de mediciones en muchas subcuencas. Es de señalar que ecuaciones del

tipo (19) sólo deben ser aplicables dentro de la cuenca de Unare y no deben generalizarse a otras zonas geológicas y climatológicamente disímiles.

La Ecuación (19) puede expresarse aproximadamente en la forma:

$$Q^* \cong K1 Ff^{1/6} Lx \dots\dots\dots (20)$$

Expresión que permite deducir, en base a algunos parámetros geométricos de las subcuencas donde actualmente es más activa la erosión y como deben modificarse los caudales. Módulos como el promedio de las avenidas o tal vez más altos, serían más importantes como determinantes del proceso de transporte y dictado final de las formas de los canales naturales de las subcuencas del Unare.

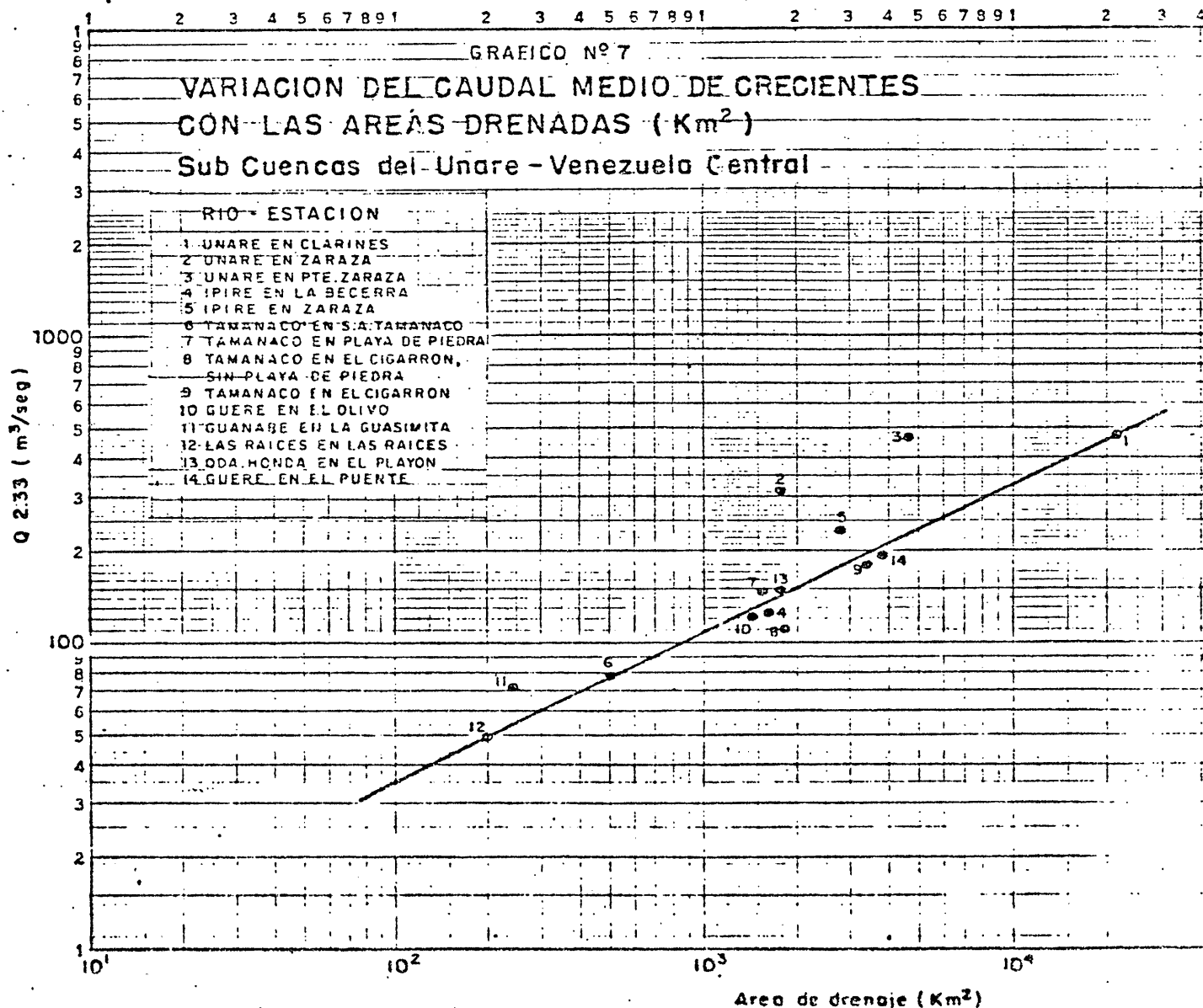
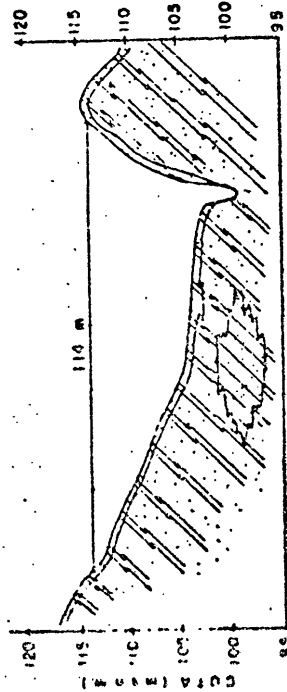
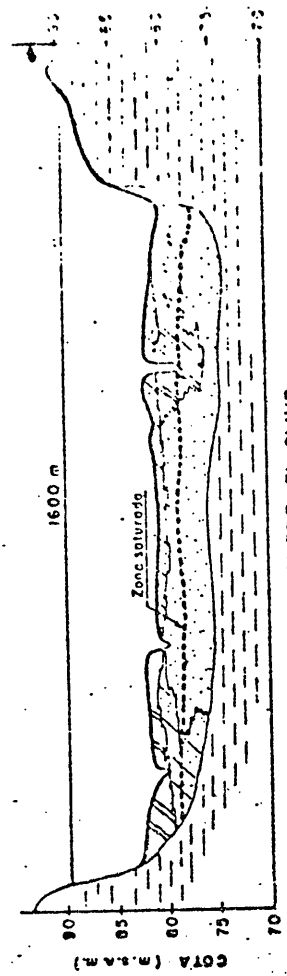


Gráfico Nº 8

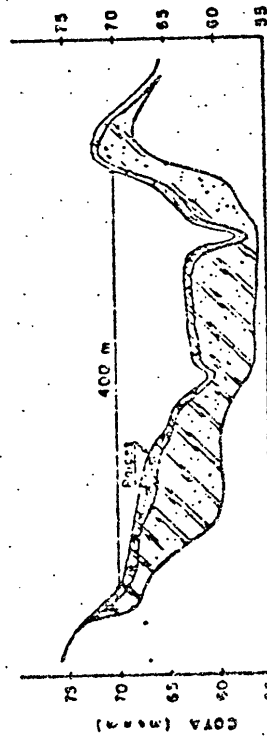
SECCIONES TRANSVERSALES EN LOS SITIOS DE PRESA INDICADOS (DEPOSITOS DE PLANICIES)



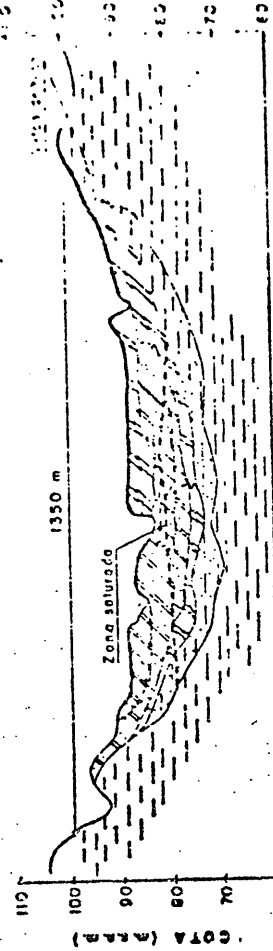
CARTANAL-PASO
(a)



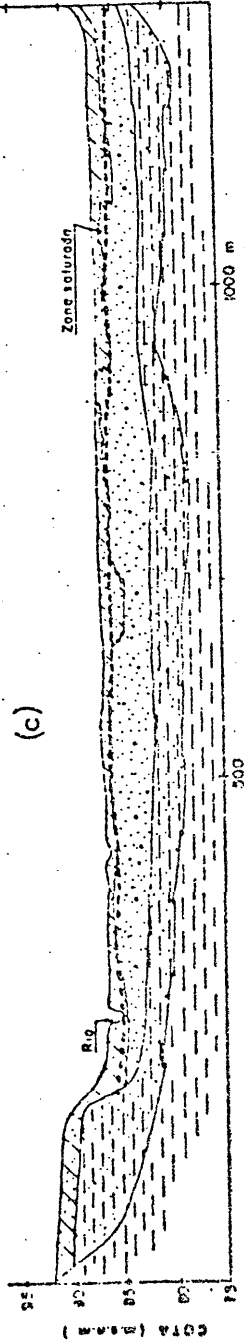
GUERE-EL OLIVO
(b)



TAPARITO
(d)



UNARE-VISTA ALEGRE
(e)



(c)

- LEYENDA
- COTA VERTICAL
 - [diagonal lines] LUTITA
 - [horizontal lines] LUTITA METEORICA
 - [dots] ARENA
 - [wavy lines] ARENA LIVIANA
 - [vertical lines] LIMO ARENOSO
 - [cross-hatch] ARCILLA
 - [stippled] ARCILLA ARENOSA

sor de estratos arenosos en mayor desarrollo que en río Unare. Estas secciones ofrecen superficialmente abundante materia orgánica en la planicie fluvial, ello en íntima asociación a la cobertura vegetal y vinculado en su origen a la ocurrencia de las avenidas, cuando se produce la acumulación, descomposición del follaje y restos vegetales, en un medio sujeto a alta saturación en los suelos.

La situación de los canales y la composición de los materiales en las planicies de los ríos del sector occidental de la cuenca de Unare, tales como el Qda. Honda, Tamanaco, Tucupido, Cartanal, etc., es distinta. La disección actual de estos cauces se desarrolla directamente sobre rocas antiguas (Oligomioceno) existiendo menor suministro y deposición de materiales aluvionales y siendo más definidas y estables sus secciones.

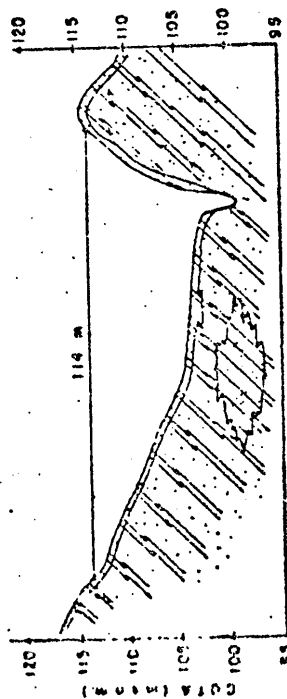
La mayoría de los canales que drenan el sector oriental, Sur y centro de la cuenca de Unare, presentan depósitos aluviales recientes de tipo arenoso como resultado del carácter formacional de las áreas de suministro. Los mismos están restringidos en su distribución a los lechos, siendo impermeables los suelos subyacentes y áreas marginales. El cauce del Unare y algunos de sus tributarios en los tramos medios a inferiores, han migrado activamente sobre estos depósitos, desarrollándose la planicie fluvial que es relativamente angosta y con una distribución sobre ella muy irregular de los diferentes tipos de sedimentos. En la parte inferior la franja aluvial se ensancha hasta 10 Km en algunos sectores.

En tiempos más recientes, el desbordamiento en crecientes ha contribuido a enriquecer los suelos a costa de las cargas sólidas en sus península. Sin embargo, el proceso de formación de diques naturales marginales no es tan activo. En algunos tributarios regulados por los altos niveles del Unare, en sitios inmediatos a las zonas de confluencia como el Qda. Honda, Tamanaco, Tucupido y otros, la ineffectividad con que se acumulan estos materiales, es derivado del carácter muy fino de los mismos, los cuales poseyendo bajas velocidades de asentamiento, retornan al cauce al descender los niveles y son transportados aguas abajo por el canal. De otra parte, los lapsos en los cuales se someten a acción de remanso, son relativamente cortos.

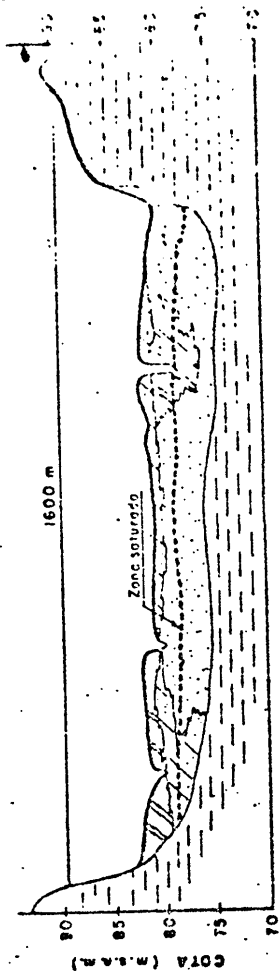
Estos sedimentos finos no producen sobre los depósitos de lecho arenoso una oclusión y/o disposición lenticular que impida su remoción o reduzca la capacidad de infiltración; sólo localmente al descender los niveles en zonas depresivas, pueden depositarse costras de materiales finos, originándose grietas de desecación que son posteriormente

Gráfico Nº 8

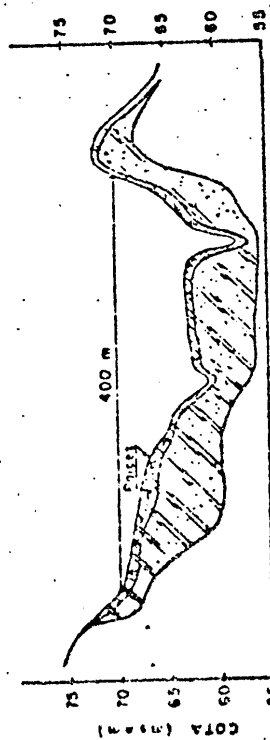
SECCIONES TRANSVERSALES EN LOS SITIOS DE PRESA INDICADOS (DEPOSITOS DE PLANICIES)



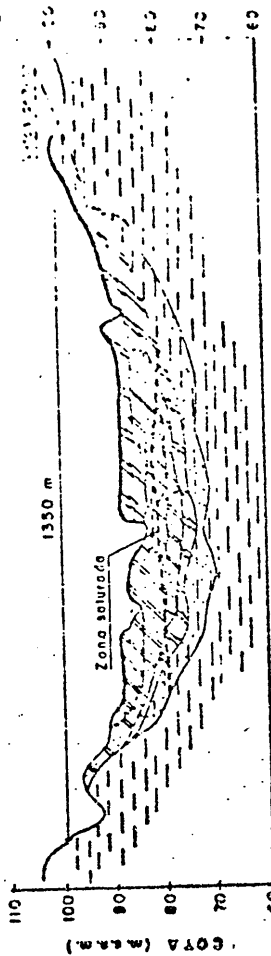
CARTANAL-PASO
(a)



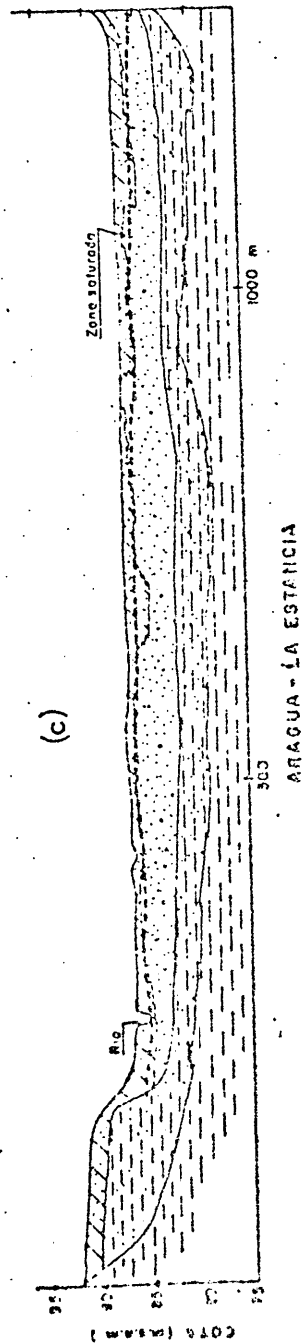
GUERE-EL OLIVO
(b)



TAPARITO
(d)



UNARE-VISTA ALEGRE
(e)



(c)

LEYENDA

—	CAPA VEGETAL
[diagonal lines]	LUTITA
[dotted]	LUTITA METEORIZADA
[horizontal lines]	ARENAS
[vertical lines]	ARENAS LIMPAS
[cross-hatch]	LIMO ARENOSO
[wavy lines]	ARCILLA
[stippled]	ARCILLA ARENOSA

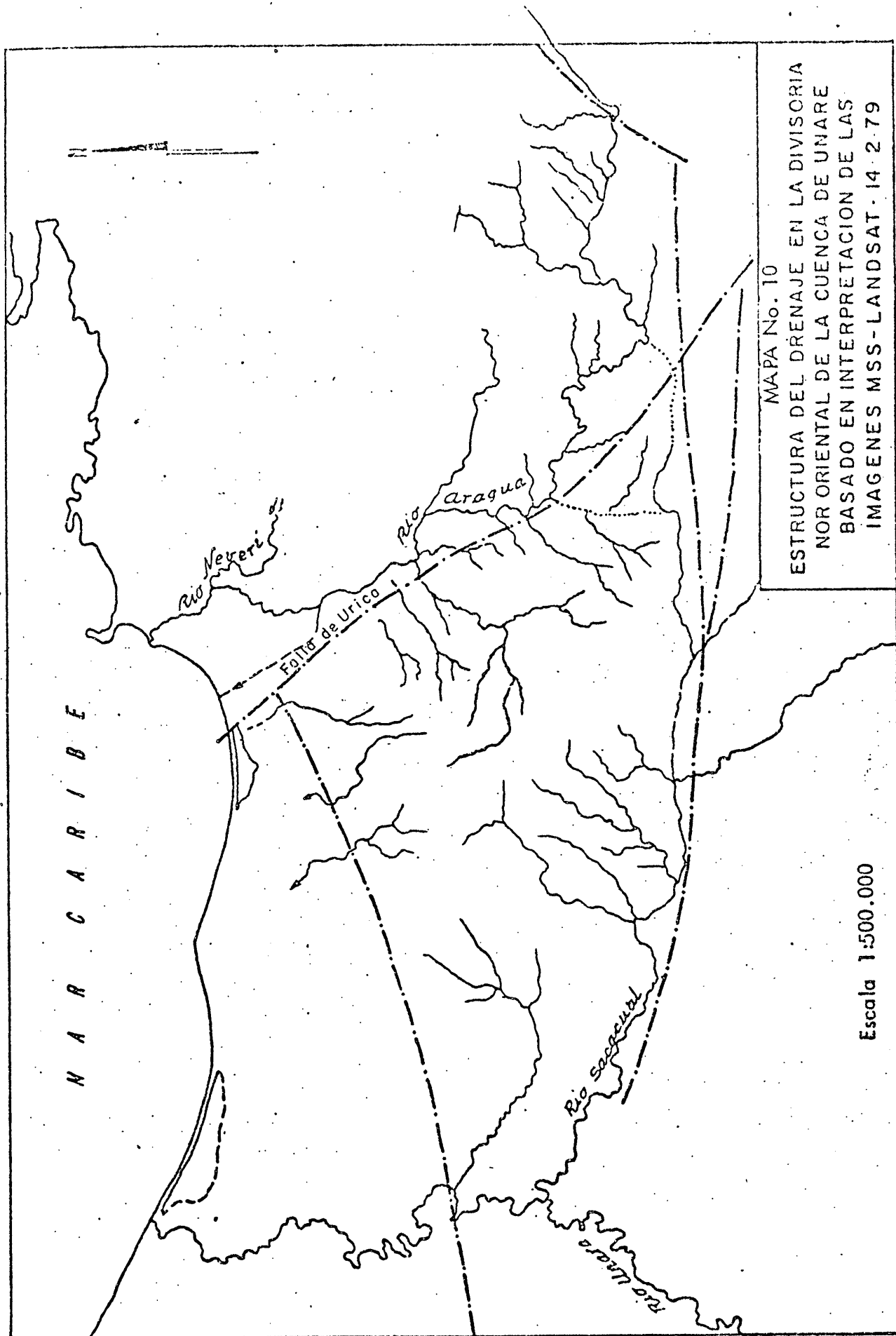
removidas por los flujos de crecientes subsiguientes. Así, el transporte del sedimento es mayor al producirse las crecientes y está controlado básicamente por las ratas de suministro en el canal desde aguas arriba a la sección considerada.

En aquellos canales de mayor pendiente con lechos gravo-arenosos, una sucesión alternada de depresiones y elevaciones se destaca, con distribución no uniforme de los materiales en el lecho. Tales estructuras son menos frecuentes o están ausentes en los canales formados por suelos cohesivos.

Un detalle de la estructura de la planicie fluvial del río Unare, es el hecho de que en las zonas bajas después de la confluencia con el río Güere, se produce una alta sinuosidad, frecuentes estrangulamientos, lagos "oxbow" y se desarrolla una notable expansión de los depósitos aluviales, lo que parece natural en un río que drenando una zona costera de bajo relieve, en rocas y sedimentos no consolidados, se aproxima a su nivel de base. De otra parte, este comportamiento puede atribuirse a un reajuste (disminución) de su capacidad de transporte a partir de la regresión Winsconsiniana (≈ 15.000 años), al iniciarse posteriormente la recuperación de los niveles eustáticos marinos hasta los actuales. Ello debió determinar significativas modificaciones en el drenaje y orientación de los ríos de esa región.

Observaciones de imágenes generadas por el satélite para recursos naturales LANDSAT-2 (sensor MSS, banda 7) y aerofotografías de la zona, han permitido definir reorientaciones de canales como el del río Aragua, el cual en su pasado geológico debió drenar probablemente hacia la depresión de Unare, en continuidad con el presente alineamiento del río Sacacual y el cual reorientó su cauce hacia el río Neverí más al Norte, como consecuencia del control estructural y tectónico, atravesando un abra afectada por la falla de Urica. (Ver Mapa No. 10).

En el presente, estas divisorias son bajas y existen barreras orográficas de las estructuras del Macizo Oriental, permaneciendo extendidas paralelamente al pie de la Cordillera. La más importante coincide con un eje que cruza en sentido Este-Oeste por el poblado de San Mateo, existiendo cerros alineados estructuralmente como el Pelón, Las Camasas, El Ahorcado, La Piedra, Caribito. Este se interrumpe desarrollando valles disectados en sentido N-S como son los de los ríos Tucutú, cual y Prespantal, cuyas divisorias en la cuenca del Unare permanecen muy bajas y ellos quizás fueron antiguas vías de orientación del río Aragua, antes de que él reorientara su escorrentía hacia el río Neverí, condicionado por modificaciones en los niveles de base locales y procesos tectónicos actuando en el borde meridional de la Cordillera. Es un hecho



N A R C A R I B E

MAPA No. 10
ESTRUCTURA DEL DRENAJE EN LA DIVISORIA
NOR ORIENTAL DE LA CUENCA DE UNARE
BASADO EN INTERPRETACION DE LAS
IMAGENES MSS-LANDSAT-14-2-79

Escala 1:500.000

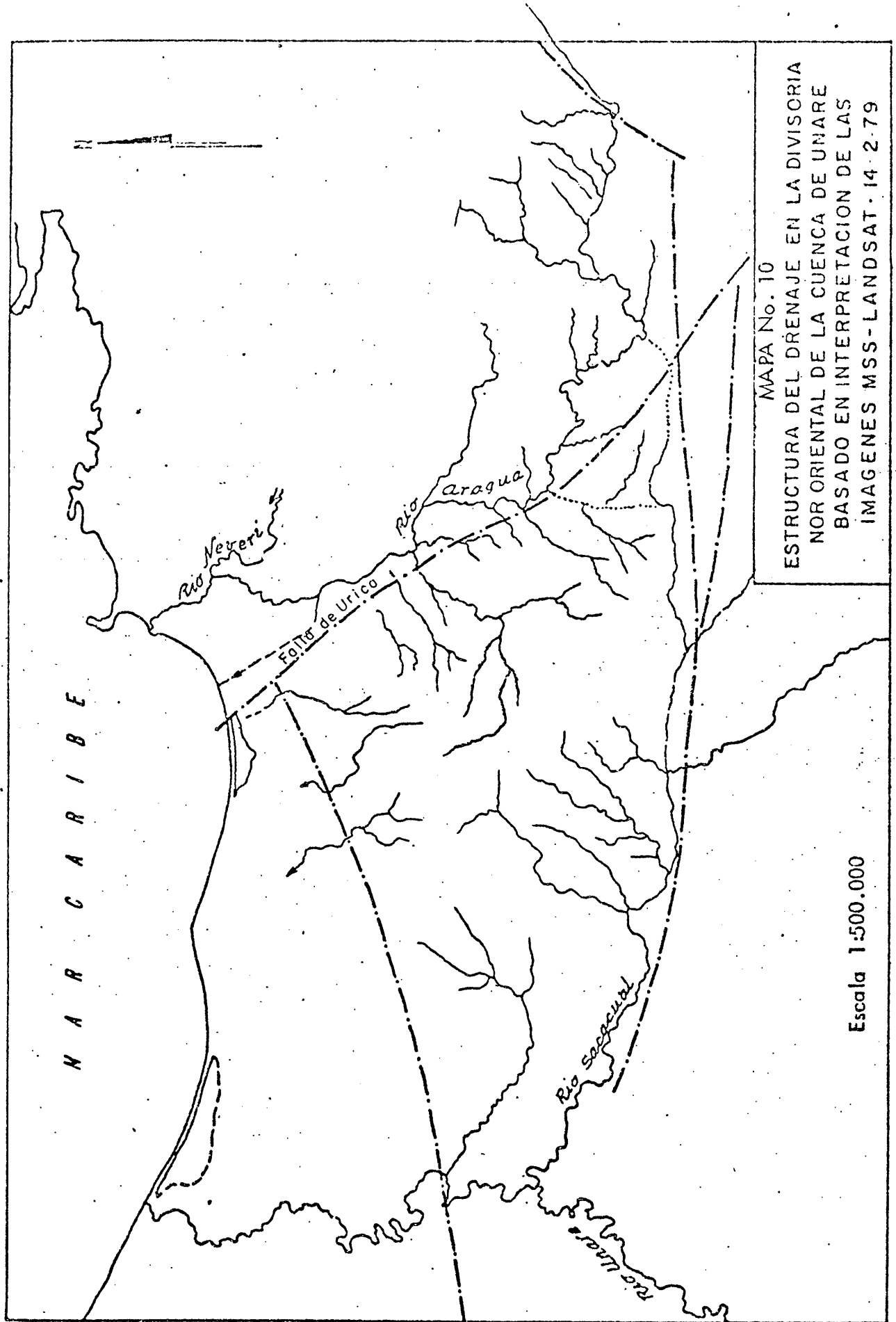
removidas por los flujos de crecientes subsiguientes. Así, el transporte del sedimento es mayor al producirse las crecientes y está controlado básicamente por las ratas de suministro en el canal desde aguas arriba a la sección considerada.

En aquellos canales de mayor pendiente con lechos gravo-arenosos, una sucesión alternada de depresiones y elevaciones se destaca, con distribución no uniforme de los materiales en el lecho. Tales estructuras son menos frecuentes o están ausentes en los canales formados por suelos cohesivos.

Un detalle de la estructura de la planicie fluvial del río Unare, es el hecho de que en las zonas bajas después de la confluencia con el río Güere, se produce una alta sinuosidad, frecuentes estrangulamientos, lagos "oxbow" y se desarrolla una notable expansión de los depósitos aluviales, lo que parece natural en un río que drenando una zona costera de bajo relieve, en rocas y sedimentos no consolidados, se aproxima a su nivel de base. De otra parte, este comportamiento puede atribuirse a un reajuste (disminución) de su capacidad de transporte a partir de la regresión Winsconsiniana (≈ 15.000 años), al iniciarse posteriormente la recuperación de los niveles eustáticos marinos hasta los actuales. Ello debió determinar significativas modificaciones en el drenaje y orientación de los ríos de esa región.

Observaciones de imágenes generadas por el satélite para recursos naturales LANDSAT-2 (sensor MSS, banda 7) y aerofotografías de la zona, han permitido definir reorientaciones de canales como el del río Aragua, el cual en su pasado geológico debió drenar probablemente hacia la depresión de Unare, en continuidad con el presente alineamiento del río Sacacual y el cual reorientó su cauce hacia el río Neverí más al Norte, como consecuencia del control estructural y tectónico, atravesando un abra afectada por la falla de Urica. (Ver Mapa No. 10).

En el presente, estas divisorias son bajas y existen barreras orográficas de las estructuras del Macizo Oriental, permaneciendo extendidas paralelamente al pie de la Cordillera. La más importante coincide con un eje que cruza en sentido Este-Oeste por el poblado de San Mateo, existiendo cerros alineados estructuralmente como el Pelón, Las Camasas, El Ahorcado, La Piedra, Caribito. Este se interrumpe desarrollando valles disectados en sentido N-S como son los de los ríos Tucutucual y Prespantal, cuyas divisorias en la cuenca del Unare permanecen muy bajas y ellos quizás fueron antiguas vías de orientación del río Aragua, antes de que él reorientara su escorrentía hacia el río Neverí, condicionado por modificaciones en los niveles de base locales y procesos tectónicos actuando en el borde meridional de la Cordillera. Es un hecho



MAPA No. 10

ESTRUCTURA DEL DRENAJE EN LA DIVISORIA
NOR ORIENTAL DE LA CUENCA DE UNARE
BASADO EN INTERPRETACION DE LAS
IMAGENES MSS-LANDSAT-14-2-79

Escala 1:500.000

observado actualmente, que el grado de plegamiento y deformación superficial de las tierras difiere de lo que ocurre en sectores adyacentes a este borde.

Así, un suministro sólido adicional desde el río Aragua hacia el Unare, habría contribuido a un acelerado relleno del valle en la cuenca baja, mientras que una interrupción de estos suministros pudo llevar posteriormente a reajustar el comportamiento fluvial y a causar cambios morfológicos en la planicies, como resultado de tal reducción en el transporte.

Tales cambios evolutivos de la cuenca del Unare, hacen ver que mientras hacia el borde occidental se ha producido una acreción de las áreas como resultado de la captura del río Tamanaco, hacia la zona oriental una reducción superficial de la misma se ha registrado, no siendo posible con las evidencias actuales, señalar conexiones o síncronismos entre ambos mecanismos fluviales.

2.11 DESARROLLO Y EVOLUCION DE LAS PLANICIES FLUVIALES

La comprensión de cómo han evolucionado los valles y los depósitos aluviales en la cuenca de Unare, lleva no solamente a establecer los mecanismos que han controlado la disposición de los sedimentos y su interrelación con otros del ciclo hidrológico, sino que ello es importante como una manera de diagnosticar en qué forma puede una alteración de las condiciones naturales, coadyuvar al deterioro de los recursos (aguas, bosques y suelos), lo que se puede manifestar en cambios detrimentales para todo el sistema fluvial. Las formaciones geológicas marginales de la cuenca (Mesa, Freires, Quiamare), son las fuentes más importantes de sedimentos arenosos, los que son encontrados como depósitos coluviales en las zonas transicionales de pendiente, formando conos y abanicos aluviales, depósitos en taludes, bancos arenosos inestables y otras formas. Un reducido porcentaje de éstos es llevado hasta los canales principales como carga de lecho y acumulado en forma de barras (alternadas, de punta y móviles), en los tramos inferiores, que pueden observarse al reducirse los caudales del período lluvioso.

Mientras no se excede la capacidad hidráulica de los canales, el transporte de la fracción fina es significante, tanto en los cauces mayores como en tributarios; pero al excederse ésta, en conjunción a las bajas pendientes, como por el efecto de la vegetación en las márgenes, se produce la acreción vertical de las planicies debido a la deposición de la fracción fina sobre el suelo superficial. Si un tributario al canal mayor acumula en los períodos de esorrentía cargas sólidas

das que no son removidas por los flujos subsiguientes debido a que las mismas se estabilizan al hacerse más cohesivas o al desarrollarse sobre ellas vegetación arbustiva; en consecuencia, el cauce receptor tiende a desplazarse hacia la margen contraria, conservando la tendencia a erosionar la ribera opuesta, con lo cual comienza la migración lateral del cauce, lo que se hace efectivo durante altos flujos, cuando la resistencia de las márgenes es mayor, debido al carácter del material predepositado según el esquema descrito.

Así, el aumento de espesor de la planicie se produce durante muy cortos intervalos de tiempo, al producirse los desbordes. El mecanismo de erosión y migración de los cauces es activo durante los lapsos de escorrentía y está condicionado por la acción de los canales contribuyentes, las formas como ellos deponen sus cargas sólidas y el carácter de los sedimentos marginales antiguos.

Dentro de los depósitos sedimentarios preactuales, la estabilidad está además influenciada por las condiciones de saturación de los suelos en los taludes y la posición del nivel freático que afecta la estabilidad del material, lo cual depende del período y la forma como las lluvias y la escorrentía sub-superficial han afectado a los aluviones.

De esta forma, a principios del período lluvioso, los canales se comportan como efluentes, mientras que en condiciones de avenidas ellos actúan como influentes respecto a los flujos en los contornos.

Este proceso deposicional y migratorio en los cauces ha operado por largos períodos de tiempo, de modo que tanto el río Unare como los tributarios mayores en las partes bajas, han estado desplazándose sobre sus planicies fluviales (algunos no las poseen aun bien desarrolladas), produciendo depósitos con cierta heterogeneidad granulométrica, como es típico de los valles abiertos formados por relleno sedimentario de diferentes fuentes, sobre un borde inferior relativamente impermeable. Conforme exhibe mejor desarrollo la planicie fluvial (tramos bajos), más activa es la acción de los contribuyentes y más sinuoso se torna el cauce principal.

En este desplazamiento del cauce, es entonces factible que se desarrollen cortes y estrangulamientos que pueden quedar aislados como cuerpos superficiales donde se produce tanto el desarrollo de plankton como de vegetación arbustiva, lo cual contribuye a la estabilización de esos sectores. Eventualmente, donde la escorrentía superficial de los suelos adyacentes alimenta a estos almacenamientos, si existe como es común la abundancia de sales solubles y compuestos iónicos en las aguas, puede producirse la precipitación lenta de los mismos por efecto

de la evaporación y/o la reducción del almacenaje, debido a la percolación a través de los suelos de la planicie al descender los niveles de los ríos y actuar la evaporación.

De aquí que es importante comprender el efecto retardador de los flujos a través de las planicies, así como su comportamiento durante las avenidas.

: Una deforestación de las márgenes puede activar la erosión y migración de los canales hacia sectores ahora menos estables, aparte de disponerse de fuentes adicionales de sedimentos factibles de ser llevados hacia tramos más bajos. Cambios derivados de las pérdidas de zonas de estancamiento y de drenaje difuso (lagos "oxbow", madres viejas, lazos de meandros), pueden conducir a activar el suministro sólido hacia el cauce principal, también al incremento del suministro de compuestos salinos que serían transportados hacia aguas abajo con el subsiguiente desmejoramiento de la calidad del agua y los cuales en forma natural son retenidos y precipitados en estos medios (capas yerríferas, compuestos orgánicos y otros). Consecuencias detrimenales de difícil diagnóstico pueden ocurrir de un manejo no racional de las planicies bajas (interrelación de aguas dulces-salinas), cuyas soluciones serían imprevisibles y costosas de acometer.

Una tendencia a la reducción en el contenido de las sales solubles en las aguas de escorrentía y deposición de ellas, se destaca actualmente en los suelos marginales de las planicies, en comparación a lo que debió ocurrir en el pasado.

Los contribuyentes forman sus depósitos marginales mediante un proceso similar, el cual es más eficiente cuando los cauces mayores se encuentran a capacidad llena. Esto conlleva a la formación de remansos que inundan extensas áreas laterales paralelas al canal. La deposición ocurre sobre los sedimentos predepositados en anteriores avenidas y los diques naturales marginales tienen poco desarrollo vertical, dado que un alto porcentaje de la fracción fina retorna al canal cuando se inicia el descenso de niveles y en casos, la alta deposición en las zonas frontales cerca de las confluencias, origina una activa divagación del cauce, (ejemplo: Qda. Honda, Tamanaco, Güere), lo cual contribuye al desarrollo de la planicie y a hacer difuso el drenaje. Esta acción retardadora de la escorrentía en las zonas marginales, ejerce un efectivo control sobre el suministro de contaminantes hacia el cauce principal y es un importante proceso regulador, tanto de la conservación de los propios canales y de la calidad del agua, como del transporte sólido.

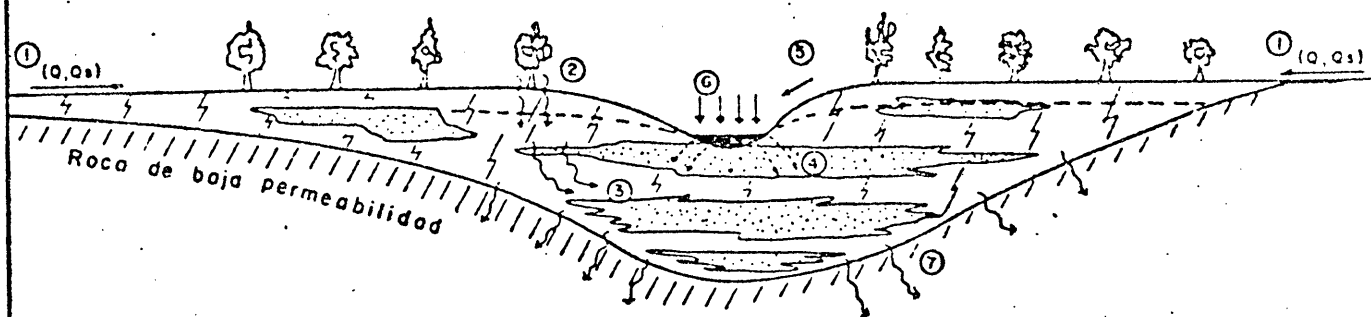
Siendo, finalmente, un alto porcentaje del sedimento fino movido hasta las costas y zonas litorales a través del Unare, podría esperarse que él se distribuyera en forma uniforme sobre las albúferas de Píritu y Unare, contribuyendo a la reducción progresiva en sus capacidades. Esta situación actualmente no demuestra ser un proceso acelerado y ciertamente la mayor parte de los sólidos es efectivamente evacuada al mar, tal como se desprende de vistas y aerofotos de la zona de descarga durante lapsos de avenidas.

La razón de tal comportamiento es que los mayores aportes sólidos y suministros del río Unare, se producen cuando estas lagunas se encuentran a capacidad llena, como resultado de la contribución de aguas directas de la lluvia local o por suministro del propio Unare y sus tributarios en los tramos inferiores de la cuenca, al principio del período lluvioso cuando es menor el transporte sólido. Así, los flujos se transitan a través del canal confinado, que con sus mismos depósitos aluviales ha creado el río entre las dos lagunas, sin que una apreciable cantidad de sedimentos afluya y se distribuya sobre las lagunas.

La alternativa de que las lagunas (Píritu y Unare) sean convertidas en receptoras de las aguas de los embalses en el período seco, cuando sus almacenajes se reducen al mínimo y tomando en cuenta la real factibilidad de que la escorrentía aguas abajo de los embalses recupere las cargas sólidas finas desde los canales, las cuales en ése estado sí tendrían oportunidad de distribuirse en los vasos, hace que tal medida de recuperación en las lagunas sea descartable si dichas condiciones se producen. La razón es que, con pequeñas variaciones en la profundidad por causa de la deposición del sedimento en tan extensos cuerpos de agua, pueden crearse cambios significativos no solamente en lo atinente a la reducción de las capacidades, sino en la termicidad, patrones de corrientes, salinidad y otros caracteres del medio, los cuales pueden obrar en direcciones imprevisibles y negativas para la preservación de las lagunas.

En el Croquis No. 4 se han ilustrado las principales fuentes de sólidos que contribuyen al desarrollo de las planicies. La primera y más importante proviene del suministro desde el canal principal que opera eficazmente durante las avenidas y la otra es la derivada de los suelos y tributarios adyacentes afectados por la escorrentía superficial.

Visto el proceso formacional y las fuentes de suministro a la planicie fluvial, es de destacar la importancia tanto de la vegetación como de los antiguos depósitos de relleno, como elementos reguladores del transporte sólido aguas abajo a través del cauce principal.



CROQUIS-4

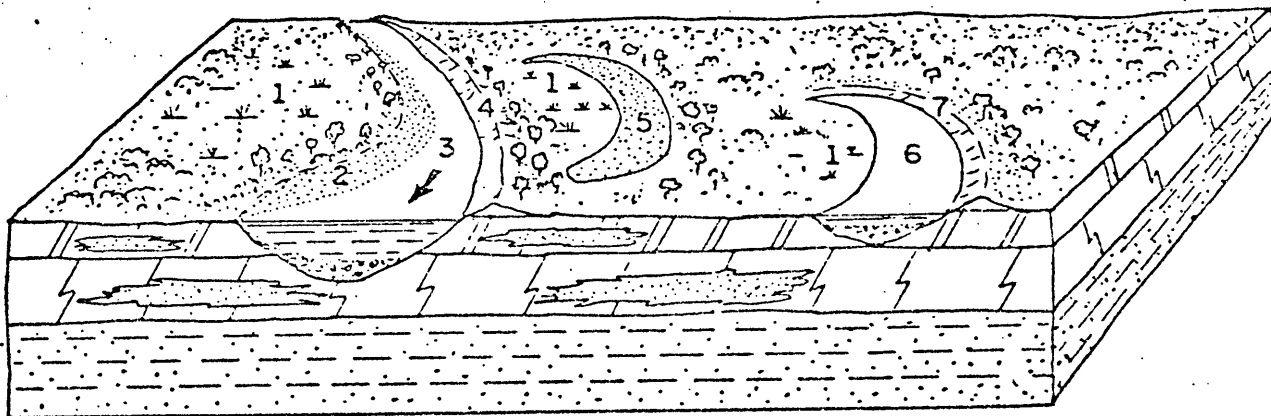
Fuentes de suministro y medios de transporte sólido hacia y dentro de la planicie fluvial

(UNA SECCION GENERICA DEL UNARE)

- ①-Suministros desde suelos adyacentes a la planicie.
- ②-Suministro e illuviación desde los niveles mas superficiales de la planicie.
- ③-④-Intercambio de flujo y contaminantes en las condiciones influentes y efluentes del canal.
- ⑤-Suministro directo de escorrentía y sólidos desde la planicie fluvial al cauce.
- ⑥-Suministro directo de la lluvia.
- ⑦-Recarga a los estratos profundos.

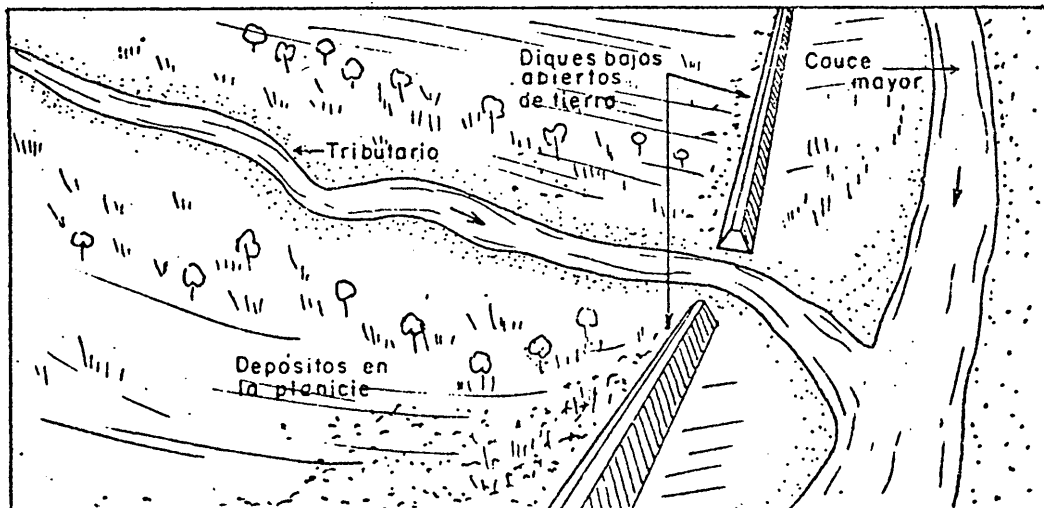
CROQUIS 5

Algunas estructuras morfológicas en la planicie fluvial del río Unare en una sección típica del tramo inferior.



- 1. Antepantanos (Back Swamp).
- 2. Barra de punta.
- 3. Cauce actual.
- 4. Dique marginal natural muy bajo.
- 5. Antiguos depósitos en forma de barras.
- 6. Lagos oxbow.
- 7. Antiguos diques marginales.

Siendo los antiguos depósitos de relleno más porosos y permeables, el almacenamiento y retención de la escorrentía superficial se produce, reteniéndose el sedimento fino. De no existir la planicie fluvial como barrera natural, se permitiría el acceso de contaminantes a los canales, mientras que si se saturan sus suelos por la lluvia directa o el desborde durante las avenidas, ella actúa como área de disposición final o temporal de las cargas sólidas aportadas por contribuyentes los cuales, ulteriormente, pueden ser estabilizados por desecación y/o atrapados por la vegetación. Este mecanismo natural puede activarse, construyéndose diques abiertos bajos, transversales a los cursos de escorrentía y al sentido del drenaje, pero sin alterar el equilibrio en el canal natural, en aquellos tributarios menores de las zonas bajas de la cuenca donde se requiera acelerar el desarrollo de las planicies fluviales y tal vez como una medida correctiva adicional al empleo de los embalses para regular la escorrentía, afluencia y suministro de contaminantes a los canales naturales; mejorándose así la calidad de los suelos y preservándose al menos parcialmente al canal, o zonas inferiores de la cuenca, del efecto nocivo de los contaminantes tanto naturales como derivados de la intervención de los suelos con fines de riego.



Estas planicies pueden ser entonces aprovechables para cultivos permanentes y no destructivos del suelo, o por aquellos que requieran tratamientos del terreno que conlleven a reactivar la erosión y el suministro sólido al cauce principal. Medidas de este tipo mejorarían la calidad edáfica, evitándose aumentos de la erosión y en cierta forma contribuirían a disminuir el riesgo de inundaciones hacia las zonas bajas, situación atenuada, pero no solventada completamente, por la acción de los grandes embalses.

Existe un aspecto de la intervención a gran escala de los suelos marginales a los grandes sistemas de ríos de la cuenca, que en modo alguno debe desvincularse del equilibrio y el comportamiento de la planicie fluvial.

Parecería que estando estos suelos distantes de las zonas de protección de las planicies, sería poco importante y significativo su aprovechamiento con fines agrícolas (deforestación a gran escala, siembras de sorgo, maíz y algodón), como factor modificador y de alteración del equilibrio fluvial. Sin embargo, es evidente que estos suelos con una baja capacidad de infiltración, concentran efectivamente la escorrentía superficial y siendo su grado de laboreo mecánico avanzado bajo condiciones de alta desecación y ausencia de cubierta vegetal, enormes extensiones de tierras estarían propensas a suministrar materiales sólidos durante las primeras y subsiguientes precipitaciones de la época lluviosa. Ellos irían a disponerse, dado su fácil transporte por su carácter fino, hasta los canales principales, desde donde su ulterior movilidad sería gobernada por la escorrentía.

Tal suministro adicional puede, en lapsos dados de tiempo, condicionar reajustes en los canales (movilidad lateral de los cauces, pendientes en los lechos, cambios en la geometría hidráulica, etc.), lo que directamente incidirá sobre el comportamiento de las planicies.

Se plantea en este sentido, evitar de alguna manera que estos materiales se movilicen o al menos retenerlos parcialmente en las áreas intervenidas, ya sea utilizando barreras vegetales naturales entre parcelas agrícolas o regulando la escorrentía y el transporte mediante la apropiada disposición de restos vegetales producto de las deforestaciones, etc., de forma que los efectos de tales intervenciones se manifiesten en menor grado sobre la evolución natural de los canales, así como en su comportamiento actual y futuro.

5. FACTORES DE ERODABILIDAD Y MEDIDAS DE CONTROL EN LOS CANALES

3.1 LOS CANALES NATURALES COMO FUENTES DE SUMINISTRO SÓLIDO

Dado que la mayoría de los cursos superficiales de la cuenca del Unare son efímeros, entre ellos el río Tamanaco y sus tributarios, un alto porcentaje del transporte sólido, además de que se produce en el período lluvioso, es suplido por los propios canales, considerándose éste de mayor importancia que el aportado por los suelos y planicies. En las áreas de nuestro interés, la importancia de los canales como fuentes de suministro de sedimentos, está condicionada por los siguientes factores:

- a. Caracteres geológicos inherentes a los materiales disectados; son predominantemente finos, cohesivos, más susceptibles a la erosionabilidad cuando abunda la fracción limosa y arenosa fina o cuando debido a los procesos de desecación y saturación alternada durante los períodos secos-húmedos, la resistencia de los mismos es muy variable. La acción de los flujos sobre los taludes de los cauces en las condiciones antes descritas, conlleva al desarrollo de asentamientos y deslizamientos de los bancos, con lo cual se incrementa el suministro y el transporte sólido. A una escala de tiempo geológico, opera el asentamiento y deformación regional de los suelos argiláceos superficiales, en conjunción a la acción erosiva de naturaleza hídrica.
- b. Gradientes de los perfiles longitudinales de los canales: los ríos que drenan la región nor-occidental de la cuenca del Unare presentan los más altos gradientes topográficos. Estos decrecen desde la zona de transición gradualmente hasta alcanzar en los tramos medios valores menores a 0,001 m/m. Contribuyentes del río Tamanaco presentan valores superiores y a menudo cuando atraviezan suelos de consistencia homogénea, desarrollan sistemas paralelos de drenaje controlados por el declive general del terreno, tal como ocurre con el sistema de canales de la margen izquierda del río Tamanaco, entre el río Tucupido y El Caballo. (Ver Mapa No. 2).

La influencia del propio cauce del río Tamanaco sobre el drenaje inmediato a sus áreas marginales, puede reconocerse al observar la mayor densidad del drenaje en estos sectores. Esto es probablemente un reflejo de la tendencia del sistema fluvial a equilibrar el gradiente del perfil longitudinal, cuyas variaciones han sido causadas por el incremento de la escorrentía superficial des-

pués de producirse la captura del cauce superior, lo que se traduciría dentro de este tramo en un cambio gradual, el cual consiste en la reactivación de la degradación de estos tributarios menores contribuyentes al canal principal. La magnitud de tal cambio es, sin embargo, de poca importancia desde el punto de vista de que se puedan aumentar notablemente las ratas de aportes sólidos de la cuenca, siendo de interés para comprender mejor la evolución del drenaje y las formas resultantes del paisaje.

- c. La distribución de las tormentas generadoras de crecientes: siendo muy variables las distribuciones espaciales de las tormentas generadoras de escorrentía superficial, áreas particulares del propio canal exhibirán diferencias notables entre las capacidades de transporte y de suministro durante las crecientes. En zonas semi-áridas o en cuencas de ríos con regímenes efímeros, la forma como responde el canal a la acción de las avenidas, particularmente en lo referente al recogimiento del sedimento y su transporte aguas abajo, es poco conocido. La situación ofrece características muy particulares cuando una excesiva fracción del volumen del escurrimiento superficial transitado a través del canal, se disipa bien sea por infiltración o mediante pérdidas por evaporación, de modo que el proceso de transporte se produce en una sucesión interrumpida de lapsos correspondientes a la generación de avenidas, las que presentan tantas diferencias de ocurrencia en el tiempo como en sus formas, que la notable variabilidad en las magnitudes de acarreo, es un carácter común de los ríos de estas regiones. Esta situación es propia también de otras subcuencas del Unare, particularmente de importancia en aquellas drenadas por ríos de mayor longitud y donde es muy variable el régimen pluvial.

3.2 EROSION EN LA SUBCUENCA DE TAMANACO

El laboreo de la tierra actual en la cuenca del Tamanaco, aún cuando ha contemplado la introducción de maquinaria agrícola para el acondicionamiento de grandes extensiones de tierra, se ha venido realizando sin tomarse precauciones que conlleven a la preservación de los suelos. Procesos similares pueden comenzar a desarrollarse en otras regiones de la cuenca de Unare. Ciertos sectores fueron originalmente cultivados, pero debido al empobrecimiento de la capa más superficial por lavado y al no regenerarse la vegetación, el paisaje ha adoptado un aspecto inhóspito. Al Norte de Tucupido la erosión ha configurado un paisaje altamente denudado, con avanzados grados de disección y erosión de los suelos.

El uso continuado de la maquinaria agrícola (roturadora), sin dejar que el suelo superficial regenere la vegetación herbácea, ha mostrado producir en áreas con declives de 5-10° un gradual empobrecimiento, resultando la remoción hasta de 50 cm del material superficial en dos ciclos de siembra y exponiéndose el horizonte medio del terreno que presenta una mayor resistencia a la erosión, con el agravante de que por su pobreza en nutrientes y el reducido espesor natural, no permite posteriormente aun el desarrollo de los pastos nativos de la región. Suelos en estas condiciones pueden requerir largos años de recuperación natural o elevados costos de tratamiento para llevarlos a condiciones de mediana productividad. Afortunadamente, son tan extensas las áreas que no han experimentado este manejo y los casos observados tan aislados relativamente dentro de la cuenca, que el interés que puede derivarse de esta afirmación radica en tratar de evitar que el método se generalice.

Lo anterior debe ser del interés de edafólogos y agrotécnicos, con el propósito de hacer un diagnóstico definitivo que establezca la naturaleza de los daños causados al suelo a largo plazo. Más aún, al desarrollarse enormes extensiones bajo este sistema de laboreo, si se considera que en general los procesos que controlan el enriquecimiento orgánico de ellos son de poca eficiencia, así como pobres las fuentes aportadoras de materia orgánica, ha de reconocerse la importancia de evitar que tanto la remoción de las partículas del suelo más superficial (acción hídrica y eólica) como la circulación de los nutrientes naturales y productos de la actividad bio-química de los suelos, se produzca.

No se tiene experiencia y es un hábito desconocido por los agricultores de la región, el uso de medidas correctivas de la erosión de los suelos, particularmente en aquellos en los cuales por las condiciones de declive, intensidades de las precipitaciones, extensión de laboreo y tipos de cultivos altamente dañinos, tales procedimientos deben ser introducidos.

Sin duda que los terrenos que actualmente no soportan nuevos cultivos o dan una deficiente productividad anual, experimentaron inadecuadas formas de manejo, habiéndose extendido su aprovechamiento por uno o varios ciclos de siembra, en ausencia de eficientes medidas de control, protección y estabilización. Las superficies colinales, como se ha observado antes, después de ser deforestadas pierden gradualmente la delgada capa superficial, lo cual trae consigo un empobrecimiento en el rendimiento agrícola y la necesidad de ser abandonadas por el agricultor, migrando éste hacia otras áreas vírgenes, lo

que impone al suelo una progresiva labor de deforestaciones y readaptaciones a especies no permanentes. Si a ésto se añade la acción frecuente de las quemas y el cambio al hábito pastoril con rebaños crecientes, es comprensible que los suelos experimenten un progresivo deterioro físico, textural y estructural.

Cuando las extensiones cultivadas son pequeñas, los efectos de-
trimentales tienen un carácter local y no llegan a modificar el régimen de escorrentía y transporte sólido en las zonas depresivas donde se produce la concentración del escurrimiento, pero tal condición no puede persistir cuando las áreas intervenidas son mayores y los daños más significativos pueden afectar principalmente al sistema de drenaje natural. Esto lleva a considerar la necesidad de regular el escurrimiento que en tal condición se produce con cargas sólidas superiores a las que se producían cuando el suelo estaba protegido por la vegetación natural.

La protección contra la erosión en las zonas depresivas puede lograrse bien construyendo pequeños embalses que actúen como retardadores de la concentración de la escorrentía a manera de diques-terrazas, o bien disponiendo la vegetación removida en un sentido transversal al escurrimiento en las áreas depresivas. La capacidad de estos pequeños embalses y la altura de tales diques, no tienen que ser elevadas y su ejecución, aun cuando contemplen medidas ingenieriles, no deben generar altos costos y diseños artificiosos.

Una medida protectiva contra la erosión y la acción de los vientos, que pueden ejercer su efecto durante las horas de mayor calentamiento del aire a nivel del suelo y que actuaría favorablemente cuando las extensiones deforestadas sean elevadas, es la disposición de barreras rompevientos, aprovechándose la vegetación original o la resiembra como complemento. Ello, además de evitar daños a las zonas cultivadas provee otras ventajas adicionales como son: mantenimiento de las cercas, conservación de vías de penetración, siembra y fuente de alimentación a la ganadería. En años recientes la introducción de maquinaria agrícola pesada ha contribuido al deterioro de las vías de penetración agrícola, especialmente cuando ellas se utilizan para movilización entre los centros de producción, encontrándose los suelos en condiciones de alta saturación debido a las lluvias. Tal práctica, además de dañar las vías y requerir altos costos de mantenimiento, impide la mejor recuperación y transporte de las cosechas. La movilización en estas condiciones debe ser evitada en lo posible por los propios agricultores.

3.3 RESISTENCIA A LA EROSION DE LOS SUELOS

Debido a su gran extensión, existen diferencias en la textura y composición de los suelos superficiales en la cuenca del Unare. Dentro de regiones extensas que abarcan a veces varias subcuencas, como un reflejo de la amplia distribución superficial de las formaciones geológicas (especialmente Chaguaramas), se desarrollan unidades con gran homogeneidad.

Es de señalar la abundancia relativa en la fracción de arena en la parte Sur (mesas) y Este en contraste con el predominio de las fracciones limo-arcillas en la zona central y occidental, lo cual se manifiesta distintivamente en el desarrollo de los patrones de drenaje y erosión, tipos de transporte sólido acarreados por las corrientes superficiales, morfología de los canales y configuraciones resultantes del relieve.

Siendo fundamentalmente fino el carácter del sedimento aportado por la mayoría de los tributarios al Unare, así como el que éste transporta hacia el Mar Caribe, es de destacar algunos de los factores que condicionan la estabilidad de las fuentes de suministro.

La cohesividad es, probablemente, el carácter más distintivo de estos suelos arcillosos. Ello, sin embargo, puede determinar muy variados grados de su resistencia, dependiendo de si se encuentran en estado seco durante los largos períodos de sequía, o altamente saturados durante el período lluvioso, con toda la gama de contenidos intermedios de humedad que ellos experimentan estén o no protegidos por algún tipo de cobertura vegetal.

Durante el período seco dentro de cortos intervalos de tiempo (1 día), estos suelos son cíclicamente sometidos a fluctuaciones térmicas (15-20°C), que alteran su estabilidad al cambiar algunas de sus propiedades. Las consecuencias de tal efecto pueden ser diferentes, incluso cuando el suelo está seco por un continuo período de desecación (interrupción continua de las lluvias), o cuando existe una secuencia alternada de cortos intervalos con suministro de humedad y desecación subsiguiente, lo cual sucede al registrarse lluvias de corta duración (chubascos).

Lo anterior, en resumen, produce contracciones y expansiones en la masa superficial del terreno debido a las variaciones en el contenido de humedad, que conlleva a la producción de fracturas menores y agrietamiento de los limos y arcillas, lo que es favorecido en aquellas áreas donde no existe o es poca la vegetación, cuyo enraizamiento podría absorber los esfuerzos tensionales generados en el suelo superficial por la acción citada.

En los topes de cimas y elevaciones que representan las interdivisorias entre las superficies de drenaje que encierran a las áreas más bajas, se desarrollan franjas no erosionadas o de muy bajos índices de erodabilidad, donde debido a la longitud reducida de las superficies con declive, no puede concentrarse el escurrimiento en láminas que realicen una erosión activa sobre el suelo. Tales superficies representan un alto porcentaje de las áreas drenadas en subcuencas con paisaje ondulado o colinar y esto se traduce en una causa adicional, tal vez una de las más importantes de las bajas ratas de suministro sólido a los canales mayores.

Así, mientras las bajas ratas de infiltración en los suelos y la baja densidad de la vegetación podrían favorecer una mayor erosión debido a la acción y concentración del escurrimiento superficial, la longitud del microsistema de drenaje opera en el sentido de reducir la acción degradante activa de los suelos y los canales por parte de la escorrentía.

Los suelos en las planicies fluviales y particularmente en las zonas bajas, presentan una buena cobertura vegetal, además de ser periódicamente enriquecidos por el sedimento que es suplido por los canales en los períodos de desborde, no detectándose erosión en estas áreas, mientras que los cursos y lechos de los ríos presentan bien desarrolladas secciones con alta sinuosidad, como resultado de un mayor aporte de sólidos desde los bancos y riberas.

3.4 EROSION AGUAS ABAJO DE LAS PRESAS. AGRADACION DE LOS LECHOS

Dos procesos relacionados con la erosión-sedimentación de los canales, pueden registrarse aguas abajo de los diques, uno como consecuencia de evacuarse caudales "limpios" que tenderían a degradar los lechos aguas abajo con el progreso del tiempo, y el otro proceso natural desarrollado sobre el propio dique y drenajes adyacentes, debido a la concentración de la escorrentía y al efecto de la lluvia directa. El primero puede ser poco significativo si los suelos que forman los canales son cohesivos y resistentes a la erosión, pudiendo atenuarse al desarrollarse vegetación natural en los lechos, mientras que, debido a la presencia permanente de escorrentía en los cauces de lecho arenoso, este mecanismo puede carecer de importancia, desarrollándose sólo re deposición y transporte local en bajas magnitudes, excepto en los caudales elevados del período lluvioso, cuando los tributarios que descarguen aguas abajo de los sitios de presa, activen levemente la erosión o depositen sus cargas sólidas al reducirse los caudales por regulación en los embalses.

De otra parte, al favorecerse el drenaje de los tributarios que convergen al Unare desarrollando muy bajos gradientes fluviales, tales como el Tamanaco, Tucupido, Ipire y otros, éstos pueden hacer más efectivo su suministro hacia el cauce principal, disminuyéndose consecuentemente la tendencia de estos tributarios a desbordarse sobre sus planicies fluviales en los períodos de crecientes, con lo cual el desarrollo y deposición de sedimentos en los bordes del canal y la propia planicie, se reducirá considerablemente a costa de un mayor suministro sólido hacia el propio río Unare.

La erosión producida por la escorrentía superficial y la lluvia directa sobre los sectores aguas abajo de algunas presas en construcción (Cigarrón y otras), con años de operación (La Becerra), ha mostrado ser significativa formándose cárcavas y redes midrodendríticas muy densas, tanto en los propios diques como en los suelos adyacentes, esto refleja la necesidad de hacer un más efectivo mantenimiento antes de que los costos de tratamiento sean elevados o el problema sea muy difícil de controlar con medidas ingenieriles. Cuando los diques son largos, la perturbación local de la escorrentía es efectiva, como para que aparezcan canales que sólo escurren periódicamente, pero con caudales tan altos que los suelos en su condición natural no estaban supuestos a ser sometidos. Así, la protección exclusiva del dique aguas abajo contribuye a que se concentre la escorrentía al pie del talud, con lo cual se acelera la erosión hídrica.

3.5 CAPTACION DEL AGUA DESDE LOS CANALES

La construcción de presas en las partes superiores de la cuenca no permitirá regular completamente los caudales de avenidas en los tramos inferiores, dado el menor porcentaje de las áreas controladas, así como por la distribución espacial tan irregular de las lluvias. Un aspecto importante relacionado con el uso del agua captada desde las zonas adyacentes a los canales, tiene mucha relación con el control de la erosión y el manejo de las planicies fluviales, al establecerse en el futuro, asentamientos agropecuarios que van a requerir el suministro del recurso en cantidad y calidad adecuadas para su buen funcionamiento. Dado que en su mayoría, y especialmente los cauces principales, transportan materiales finos durante el período lluvioso y esta situación puede persistir una vez regulados los flujos del período seco, el mayor problema puede derivarse del carácter granulométrico del sedimento y del tratamiento del agua (reducción de los sólidos suspendidos), especialmente para consumo.

Un inconveniente menor resultaría de este carácter de los sedimentos cuando se requiera establecer estaciones de bombeo o tomas, para derivar caudales con fines de riego, como se ha observado actualmente en algunos cauces.

Los requerimientos de agua para granjas o pequeños centros poblados, por ser reducidos y precisarse sólo de tratamiento de tipo primario, justifican la adopción de un método que resulte económico y práctico para la recuperación del agua. El procedimiento debe permitir captar flujos limpios de sólidos y con aceptables grados de pureza, tanto en el período seco como en el lluvioso, cuando aportes sólidos y líquidos de diversas fuentes contribuyan a modificar la calidad del agua.

Reflexionando sobre la disponibilidad de flujos sub-alveos o interflujos en los depósitos aluviales así como en el carácter granular de los mismos, se piensa que en muchos canales sería factible excavar trincheras laterales o depósitos de almacenamiento en los propios cauces, conectados hidráulicamente con los aluviones a través de una interfase granular que funcione como filtro, de modo que se logre tanto el almacenamiento como la purificación de las aguas, que estaría así libre de sólidos suspendidos y aptas para el uso.

Mediante bombeo se llevaría el agua desde este depósito hasta tanques elevados, desde donde se distribuiría el agua por gravedad hasta el emplazamiento del centro poblado, ubicado en áreas apropiadas marginales a la planicie, según esquemas sugeridos por planificadores y ordenadores del uso de las planicies fluviales.

En los tramos medios e inferiores, particularmente del río Unare y sus mayores tributarios, que se caracterizan por el alto grado de meandramiento y sinuosidad de los canales, determinando un buen desarrollo de estrangulamientos, cortes, lagos "oxbow" y otras estructuras fluviales de disección y relleno con materiales permeables, tal método se hace factible por los menores inconvenientes durante la construcción, uniéndoles artificialmente con el cauce actual si no existe la debida interconexión que favorezca el suministro de agua.

El establecimiento de pozos dentro de la planicie fluvial para los fines de suministro de agua, implica correr los siguientes riesgos e inconvenientes:

- a. Ser sometidos a daños y destrucción por avenidas del período lluvioso con el subsiguiente riesgo de interrupción de la operación de bombeo.

- b. El espesor y extensión lateral de los materiales aluviales pueden ser tales, que no permitirían una descarga sostenida adecuada los requerimientos, o se puede agotar el escurrimiento superficial al aumentarse la infiltración a través de los canales, perjudicándose usuarios aguas abajo.
- c. La operación y mantenimiento de pozos requerirá de personal entrenado y tal modalidad resultaría más costosa que el sistema propuesto, que requiere de mínimos costos de este tipo y permite usar y manejar el agua en los cursos de escorrentía con un criterio conservacionista y racional.

3.6 USO DE LAS PLANICIES INUNDABLES

En diversos estudios edafológicos se ha reconocido que las tierras, desde el punto de vista agrícola con una mayor calidad edáfica dentro de la cuenca de Unare, se restringen a una estrecha franja que bordea los canales naturales en sus tramos medios y bajos, correspondiéndole geológicamente a la distribución de aluviones recientes que conforman la planicie fluvial, con una mayor cobertura vegetal y que por su naturaleza orgánica y sedimentaria, podrían ser potencialmente aprovechables con fines agrícolas. Diversos argumentos, sin embargo, hacen cuestionable que estas áreas sean aprovechables con este propósito, a menos que se corran riesgos imprevisibles respecto a la conservación y estabilidad de los canales o los relativos al deterioro de la calidad de las aguas, lo que puede ser limitante para los usos en sectores aguas abajo.

De una parte, se ha reconocido que el mayor porcentaje del suministro sólido de la cuenca proviene de los propios cauces. Cualquier proceso de deforestación y manejo de suelos en zonas cercanas a los cauces, donde la cobertura boscosa se ha formado en largos intervalos de tiempo y cuyos suelos presentar menor estabilidad que los de zonas más distantes de los propios lechos, puede acelerar la erosión marginal dañando tierras ya estabilizadas durante largos lapsos. Dado el comportamiento exhibido por el Unare y tributarios mayores, en crecientes que se desbordan inundando grandes extensiones marginales, sólo efectos reguladores secundarios y locales podrían esperarse si una franja angosta de la planicie marginal de los cauces se deja protegida con la vegetación natural, mientras las zonas distantes (100-500 m), son activamente intervenidas de ésta manera lo que determina que los flujos de crecientes creados por los tributarios a los cauces principales y la acción de la escorrentía superficial, actúen sobre áreas relativamente pequeñas,

pero que son inestables por lo inmediato a los canales, tanto por la conformación granulométrica de los depósitos, como por su mayor erodabilidad.

Siendo, de otra parte, más permeables y con fácil interconexión a través de los aluviones con el canal, el uso de fertilizantes y plaguicidas con fines agrícolas, tendrían un acceso directo al escurrimiento a través de los canales principales, lo cual contribuiría a contaminar las aguas con el subsiguiente problema para ser usadas aguas abajo, lo que determina, cuando sean llevados hasta los tramos inferiores, el deterioro del ya incipiente balance bio-hidrológico de las lagunas costeras de Unare y Píritu.

Un aspecto relacionado con la calidad del agua es que las planicies inundables son por su ubicación y constitución, las áreas de suministro y control de materia orgánica más importantes dentro de la cuenca, de forma que muchos procesos de biodegradación son regulados por su presencia y características naturales, las cuales no pueden ser cambiadas intempestivamente, sin originarse efectos que podrían manifestarse sobre la calidad del agua superficial o subterránea, a cortos o largos plazos.

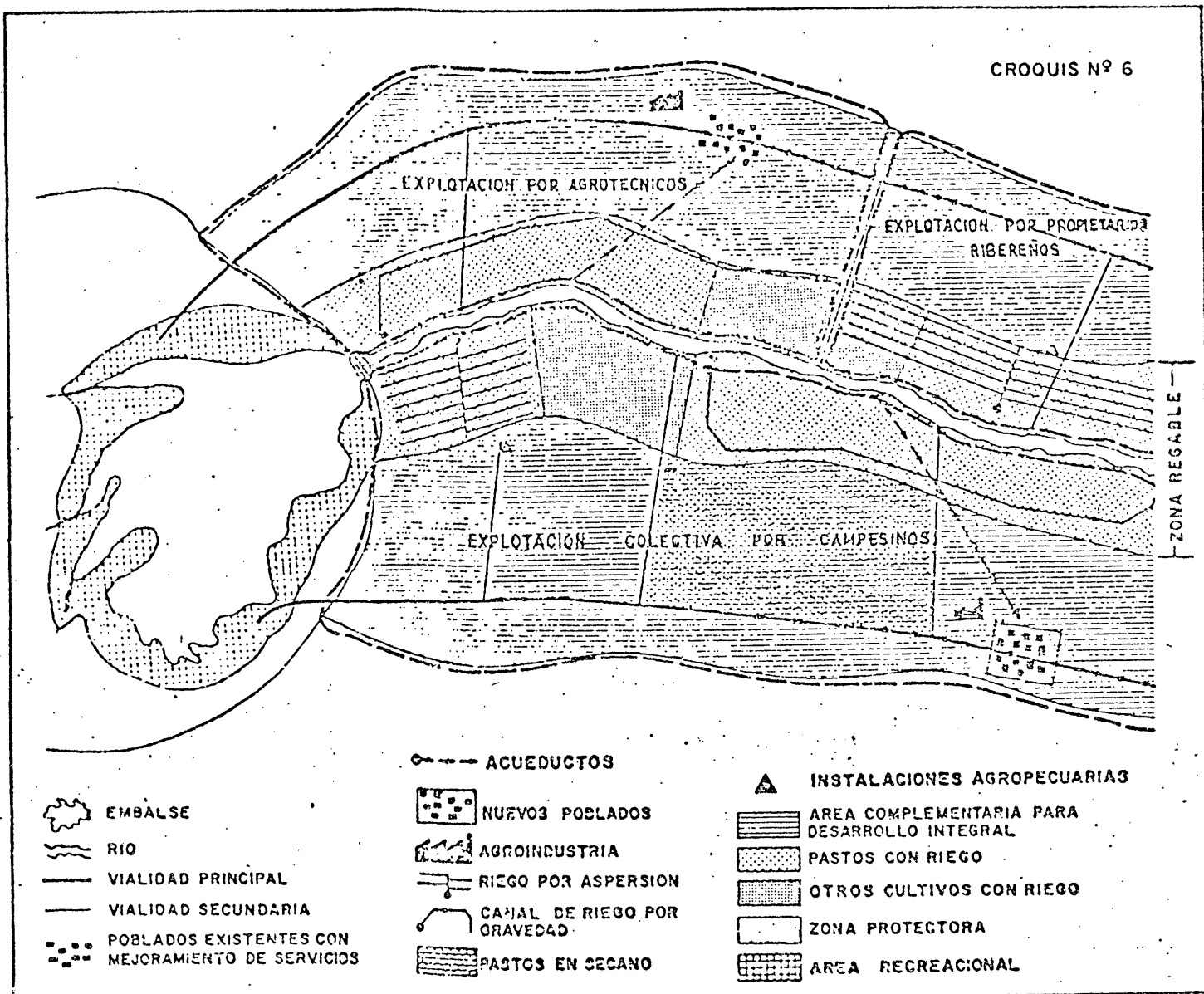
Lo anterior lleva a reconocer que, en cuencas de estas características, la mayor preocupación del planificador debe ejercerse en el manejo y el establecimiento de normas sobre el uso de las planicies inundables, en contraste con la situación de las cuencas de alto relieve, donde la conservación y manejo adecuado de las tierras altas, debe ser el objetivo primario.

Reducir o limitar la zona protectora a 25 m de los márgenes de canal (Croquis No. 6), cuando el desarrollo lateral de las tierras sería intensivo*, se considera contraproducente y de eficiencia dudosa como alternativa de minimizar los efectos colaterales, relacionados con la erosión y el deterioro de las aguas en los tramos inferiores.

Este esquema de desarrollo se fundamenta en la disponibilidad de recursos en las propias áreas de las planicies, aun cuando se considera la prestación y existencia de todos los servicios para las comunidades. El deja de ser impráctico y deficiente en algunos aspectos, al no considerarse aquellos objetivos de carácter conservacionista, particularmente los que tienen influencia sobre la estabilidad de los suelos y canales

* Esquema propuesto por la División de Análisis Económico. Div. de Planeamiento. DGRH-MOP. Julio 1975.

UN ESQUEMA DE APROVECHAMIENTO *



de escorrentía, así como los relativos al deterioro de la calidad de las aguas supuestas a ser receptoras de diversos contaminantes y efluentes industriales, productos del mismo desarrollo y la actividad humana.

Una selectividad apropiada de cultivos y un riguroso ordenamiento del uso de las tierras y el agua, adaptados a las condiciones propias de dichas planicies en cada río y tramos fluviales, es lo recomendado en la cuenca del Unare. Debe tratarse de limitar, en lo posible, el uso agrícola de las planicies a sectores distantes de las áreas protegidas por los embalses, no permiténdose progresivas y continuas defores-

taciones en áreas adyacentes a los canales en estos tramos, regulándose y limitándose un mayor porcentaje de estas tierras al fomento ganadero, la actividad tradicional de la región.

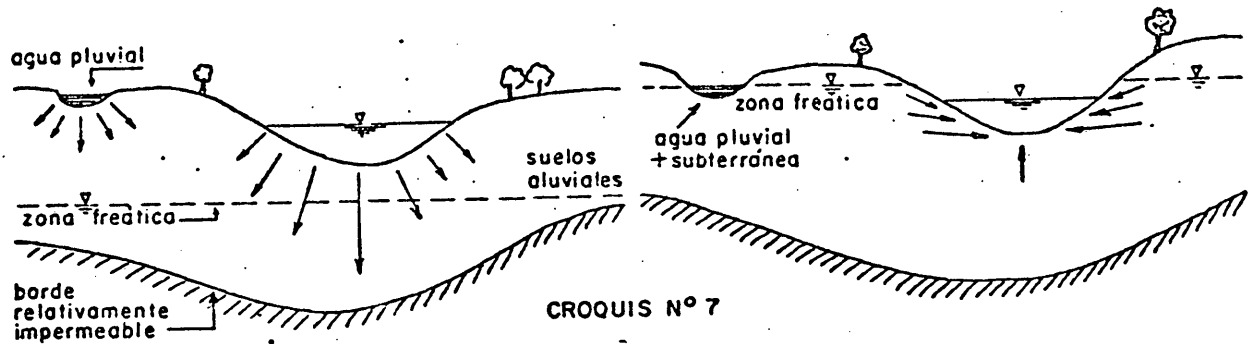
3.7 ALMACENAMIENTO Y FLUJO SUB-ALVEO A TRAVES DE LOS ALUVIONES

En contraste con las bajas recargas experimentadas en los suelos y lechos de cauces formados por suelos finos, la infiltración y almacenamiento en los depósitos de lechos con carácter grueso, es efectiva, tanto por acción de la lluvia directa sobre los canales, como por la escorrentía superficial.

El almacenamiento y flujo sub-alveo es controlado por el carácter impermeable del fondo del valle que se restringe a la interfase depósito aluvial-suelo impermeable. La infiltración vertical determina un flujo intermedio a través de los aluviones o el almacenamiento subterráneo en zonas depresivas con relleno sedimentario de materiales arenosos.

Tal situación ha sido aprovechada en oportunidades para extraer agua del lecho de los ríos con fines de abastecimiento a haciendas y poblados. Este comportamiento de la escorrentía subterránea puede ser significativo, conforme el aumento de espesor y desarrollo de los depósitos permeables se produce hacia los tramos inferiores del río Unare, pudiendo originarse discontinuidad del flujo al reducirse la recarga por disminución de la pluviosidad o crearse zonas de almacenamiento en sectores depresivos del lecho con discontinuidad en los gradientes del flujo subterráneo. Con el remanso de tributarios por los cauces mayores y durante el período de crecientes, las áreas de recarga directa se hacen mayores, a través de los depósitos más permeables y superficiales de la planicie fluvial. Así, que la recarga de agua a los aluviones es muy importante en estos períodos. Mientras la extensión del canal del Unare es considerable, con efectos diversos de la escorrentía, particularmente causados por la convergencia de muchos tributarios con diferentes regímenes fluviales, así como por la distribución irregular de las lluvias, es factible que el mismo se comporte como efluente en algunos tramos o al iniciarse el período lluvioso (Croquis No. 7). Más, al satisfacerse la deficiencia de humedad del suelo en la planicie fluvial a mediados y finales del período lluvioso, la tendencia es a hacerse influente, mostrando las zonas de estancamiento sobre el propio canal y áreas de la planicie, una condición de exposición de la zona freática, más notable hacia el tramo más bajo entre Zaraza-Clarines.

Conforme se acentúa el período seco, las altas ratas de evaporación y el propio drenaje superficial en el canal, hacen que estos almacenamientos superficiales se reduzcan, aunque algunos se mantienen por varios meses después de finalizadas las lluvias, lo cual confirma su íntima relación con las aguas subsuperficiales.



Con el suministro de agua durante el período seco desde los numerosos embalses proyectados o ejecutados sobre la cuenca, esta condición se mejorará sustancialmente y se van a requerir evacuaciones más altas hacia aquellos canales de lecho arenoso y en cantidades suficientes, como para satisfacer la deficiencia de humedad de los suelos, a objeto de que se produzca escorrentía superficial, lo cual impone la adopción de cuidadosos y racionales criterios de operación de estos embalses.

Formas de explotación apropiadas deben adoptarse para recuperar este tipo de almacenamiento subterráneo, que además de ir exento de cargas sólidas, reduce considerablemente las pérdidas por evaporación, proceso éste muy importante en la cuenca del Unare dadas sus especiales condiciones climáticas, particularmente durante el período seco.

4. HIDROLOGIA Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

4.1 DATOS E INFORMACION DISPONIBLE

Dentro de la cuenca del Unare existe un número adecuado de estaciones pluviométricas y evaporimétricas. El déficit de estaciones hidrométricas es evidente en especial hacia los niveles altos y medios de la cuenca donde se ejecutan la mayoría de los embalses; ésto se debe en parte al régimen efímero de escurrimiento, lo que hace difícil la realización de mediciones y por otro lado la prioridad que se ha asignado al programa de ejecución de obras de este tipo en los últimos años dentro de la cuenca del Unare, ha determinado, por limitaciones de tiempo, que un continuo programa de mediciones hidrológicas hayan podido realizarse. Esta actividad se justifica como una vía de mejorar el conocimiento de muchos aspectos de la cuenca del Unare. Además, gran parte de la información hidrológica puede obtenerse y debe lograrse, de las obras de embalse ejecutadas con anterioridad. Estos embalses presentan en algunos casos, largos períodos de funcionamiento, como son los embalses de El Corozo, que abasteció a la población de Valle de La Pascua por muchos años y el embalse de Jabillal (más de 25 años) que suministra agua para el abastecimiento de la población de Tucupido, así como el de Agua Clara en la cuenca baja. Particularmente los datos relativos a la calidad del agua y de sedimentación, son valiosos cuando se recolectan en estos sistemas después de largos períodos de operación.

Existen 30 estaciones pluviométricas distribuidas uniformemente sobre la cuenca y 10 estaciones pluviométricas, de las cuales 4 han sido operadas esporádicamente o se han interrumpido las mediciones al iniciarse la construcción de las presas en los sitios de instalación. Mediciones sedimentológicas e hidroquímicas se han intensificado en los últimos cinco años, tanto por parte de la Dirección de Hidrología del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, como por parte del Instituto Nacional de Obras Sanitarias, el cual además ha estado muestreando los cuerpos de agua con miras a recabar información de índole biológica.

No existen estaciones meteorológicas de Primer Orden dentro de la cuenca, lo cual se justifica con miras a futuros estudios hidro y agroclimáticos, haciéndose necesaria la detección de elementos contaminantes artificiales (plagicidas, pesticidas y otros desechos), en las aguas y suelos. El Mapa No. 1 ilustra la ubicación de las estaciones hidrometeorológicas actuales dentro de la cuenca.

4.2 PLUVIOSIDAD

La parte centro-occidental de la cuenca del río Unare, que encierra a un alto porcentaje de la cuenca del río Tamanaco, es la que presenta más baja pluviosidad anual respecto a otros sectores.

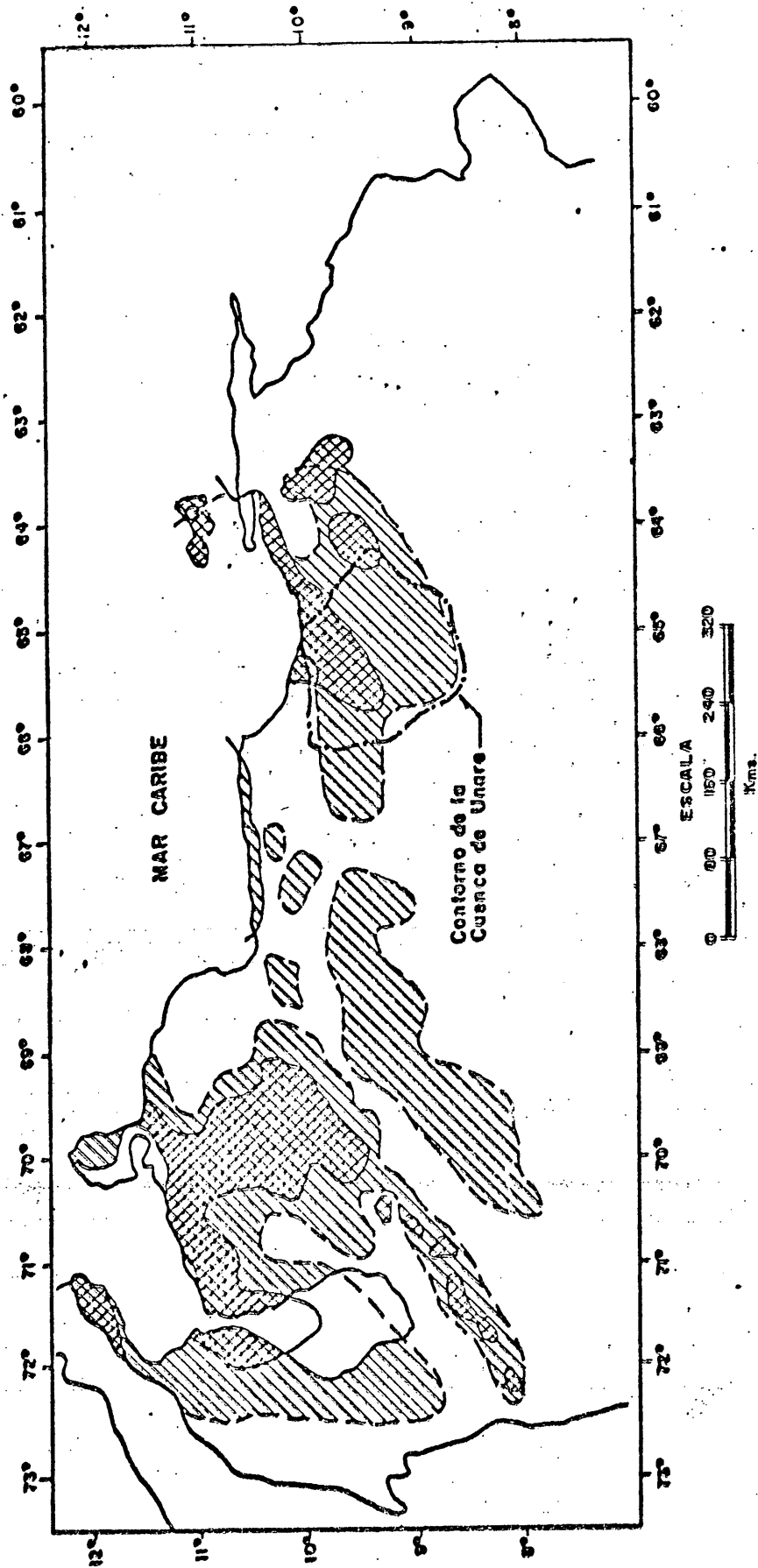
La distribución de las lluvias, tanto espacial como en el tiempo, es muy variable, excepto en la regularidad con que ocurre el período seco anual, distribuido de Noviembre a mediados de Mayo y el lluvioso de Junio a Octubre. Dentro de la cuenca del río Tamanaco la variación de las magnitudes de lluvias anuales o correspondientes a períodos de varios años, es muy variable. Esto es común a toda la región, presentándose lapsos continuos de sequías o años de relativa alta pluviosidad.

Las tormentas que ocurren en la cuenca de Unare a principios del período lluvioso son convectivas, con poco desarrollo lateral en la zona de precipitación. Por lo general los diámetros no exceden a los 5 Km y pueden ocurrir simultáneamente diferentes centros de pluviosidad en áreas adyacentes. El desarrollo areal de las tormentas crece a medida que se avanza en el lapso lluvioso.

El patrón isoyético del período 1960-1970 muestra, para la mayor parte de la cuenca, variaciones anuales de la lluvia entre 1.000-1.200 mm con un centro local de menor pluviosidad en la transición topográfica hacia las tierras de la Cordillera del Interior. Al aumentar las altitudes se incrementan los totales de precipitación anual debido al efecto orográfico, al servirles estos contrafuertes montañosos de barreras a las corrientes húmedas ecuatoriales que suministran el más alto porcentaje de la humedad, además de aquellas que penetran por la depresión de Unare y dirigiéndose en sentido Oeste causan precipitaciones en el frente de montañas.

Un centro de baja pluviosidad se registra anualmente en la región central de la cuenca (Mapa No. 11), que abarca toda la subcuenca de Tamanaco y parte del Unare inferior hasta las costas del Caribe, mientras hacia el frente de montañas de la Cordillera de La Costa aumentan las lluvias al igual que hacia el Sur, como resultado de los suministros de humedad por las corrientes ecuatoriales. Las causas que motivan este comportamiento no han sido analizadas, aunque se presume que al no existir obstáculos orográficos que actúen como barreras a estas corrientes o al no favorecerse mecanismos convectivos locales por otras causas meteorológicas, la pluviosidad puede decrecer en relación a zonas adyacentes.

MAPA Nº 11

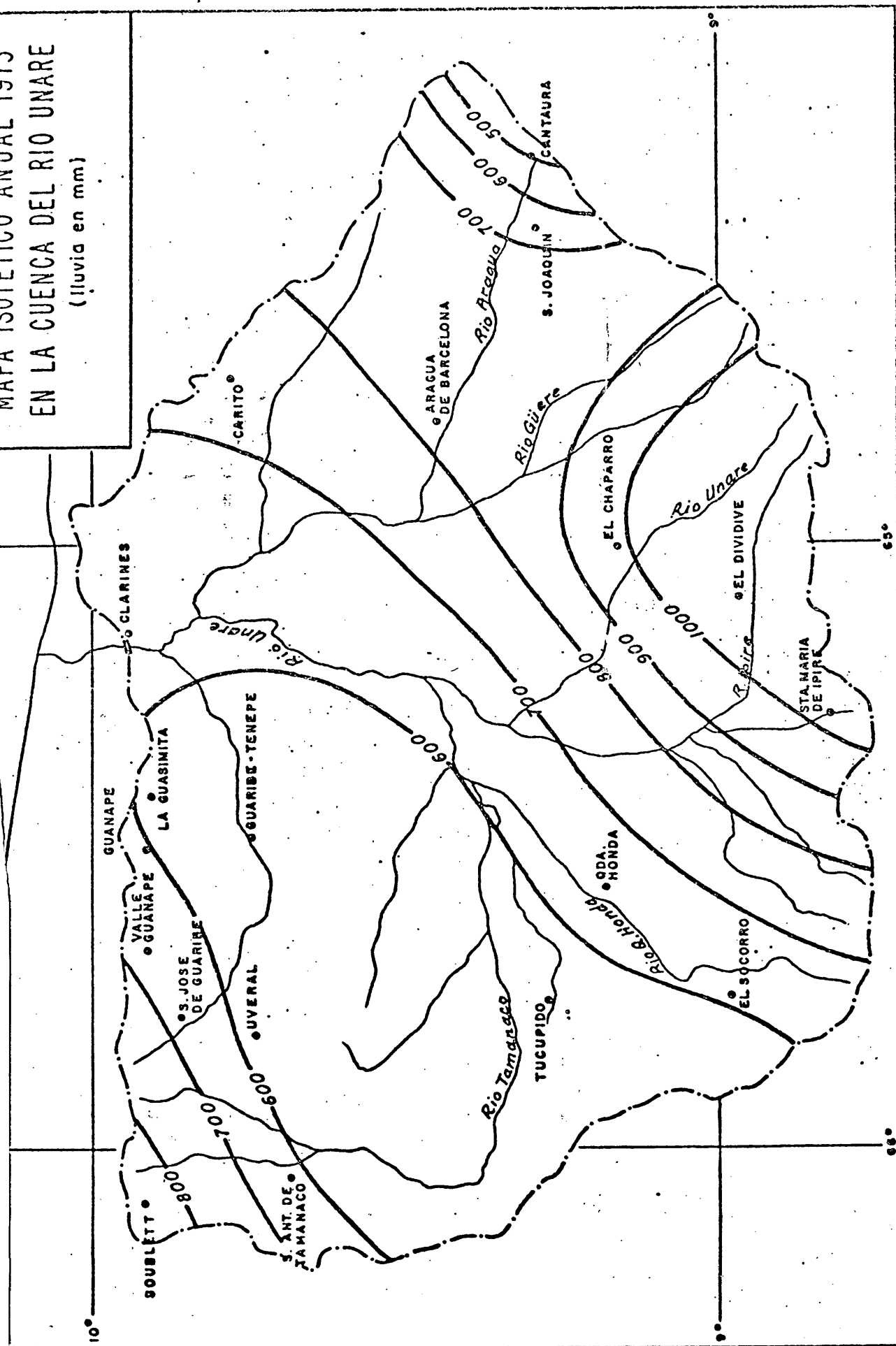


RELACION ENTRE CANTIDAD Y DIAS DE LLUVIA
CUENCA DE UNARE RESPECTO A OTRAS REGIONES DE VENEZUELA

▨ ZONAS CON MENOS DE 1000 mm DE LLUVIA ANUAL

▩ ZONAS CON MENOS DE 100 DIAS LLUVIOSOS AL AÑO

MAPA ISOYETICO ANUAL 1973
EN LA CUENCA DEL RIO UNARE
(lluvia en mm)



El Mapa No. 13 muestra como se distribuye la precipitación media anual del período 1960-1970 en la cuenca del Unare, mientras que en el Gráfico No. 10 se señala la distribución media mensual de las lluvias en diversas estaciones pluviométricas ubicadas en diferentes puntos y alturas de la cuenca. En adición, se señalan para dos estaciones pluviométricas las máximas intensidades de lluvia con una hora de duración, correspondiente al período de registro disponible. El Gráfico No. 9 representa eventos aislados que permiten sólo observar en qué períodos del año se producen precipitaciones cuya energía de impacto, dadas las condiciones antecedentes de humedad de los suelos y estado de desarrollo de la vegetación, pueden tener mayor importancia como factores reguladores del aporte de sedimentos y la erosión. La tendencia mostrada por los datos de la estación Mayalito, indican la ocurrencia de lluvias de mayor intensidad en los meses que preceden a la ocurrencia de las más altas precipitaciones mensuales, tales como son los de Mayo y Junio cuando la desecación de la vegetación después del lapso seco, además de las condiciones de los suelos en los canales, son favorables a un mayor suministro de sedimentos.

Resulta afortunado que áreas que se queman o son deforestadas durante el período seco, regeneren rápidamente la vegetación herbácea y arbustiva con las primeras lluvias, lo que se traduce en un efecto retardador de los procesos erosivos, que de otra forma podrían alcanzar estados más avanzados. Un aspecto interesante de la ocurrencia de las lluvias en la cuenca del Unare en general, es que las del inicio del período lluvioso son locales y con frecuencia pueden observarse diferentes áreas de tormentas convectivas ocurriendo simultáneamente, esto afecta en forma muy particular el régimen de escorrentía y transporte en los canales.

A objeto de destacar la distribución de la precipitación durante el lapso de sequía 1971-1974, se muestra el mapa isoyético medio con la distribución de las lluvias anuales para diferentes estaciones (Mapa No.14). En este período las precipitaciones fueron muy inferiores a los valores promedios de la década 1960-1970, con una amplia franja del Guárico central mostrando valores menores a los 800 mm.

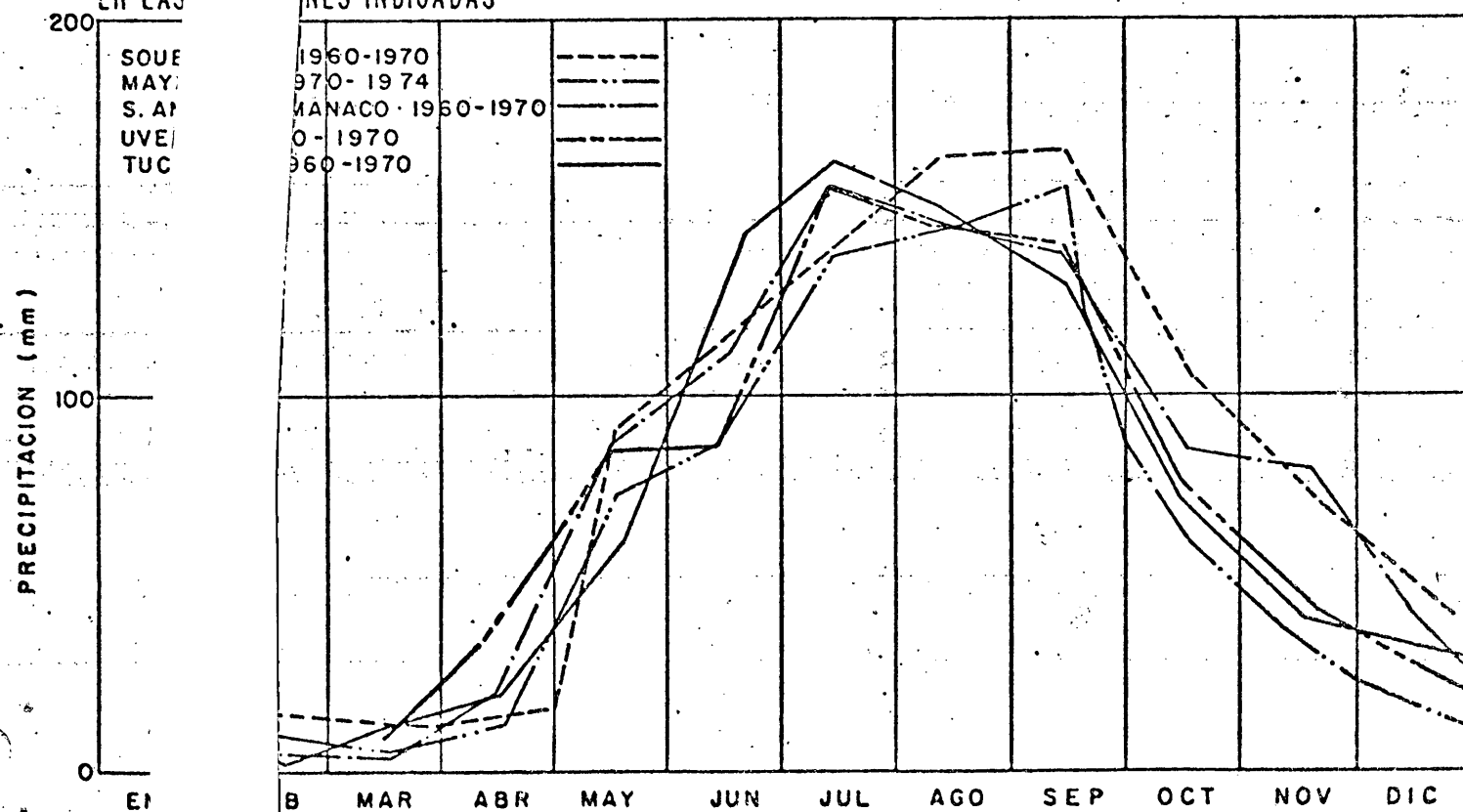
Para mostrar las discrepancias y variaciones de la precipitación en la cuenca durante dos años, uno extremadamente húmedo y otro seco, se ha preparado la Tabla No. 3, en la cual se han agrupado para todas las estaciones pluviométricas de la cuenca, magnitudes anuales de la precipitación, % del tiempo en el cual las lluvias son relativamente bajas (< 10 mm) y aquellos años en los cuales las precipitacio

MAXIMAS INTENSIDADES DE LLUVIAS (mm)
CON UNA HORA DE DURACION



200

SOUE
MAY
S. AP
UVE
TUC



nes exceden a 50 mm/día, un valor relativamente alto para la región.

TABLA N° 3

VALORES CARACTERISTICOS DE LAS PRECIPITACIONES PARA DOS AÑOS DE ALTA (1970) Y BAJA (1973) PLUVIOSIDAD

CUENCA DEL RIO UNARE

1 Estación	2 Precipitación anual (mm)		3 % del tiempo con LL ≥ 10 mm 1970	4 % días lluviosos		5 N° de días con LL ≥ 50 mm 1973
	1970	1973		1970	1973	
El Dividival	1579	772	-	-	-	-
Qda. Honda	1259	631	10	28	41	3
El Socorro	1318	592	10	28	-	-
Tucupido	1080	559	10.4	-	-	0
Sta. M. de Ipire	1324	1019	13.0	-	-	3
La Guasimita	1163	569	8.0	-	35	2
Sn. Ant. de Tamanaco	1076	620	9.4	30	39	2
Soublette	1156	836	-	-	50	1
Uveral	925	576	8.7	28	-	1
Sn. J. de Guaribe	917	623	7.0	-	-	2
Guaribe-Tenepe	1154	693	8.0	30	-	0
Clarines	815	683	8.6	20	-	4
El Chaparro	1630	995	-	-	-	3
El Carito	1220	722	10.0	-	-	-
Sn. Joaquín	878	672	7.0	26	-	2
Aragua de Barcelona	1271	830	9.5	29	41	3
Cantaura	1133	443	6.6	27	38	3

Estos datos muestran la variabilidad de las precipitaciones durante años de alta y baja pluviosidad y como para una misma estación, donde la precipitación anual de un año seco puede ser la mitad o menos de la correspondiente al año lluvioso (Qda. Honda, Cantaura), los días lluviosos son para cada año relativamente fijos de una a otra estación. Es de notar, además, la reducida ocurrencia en la cuenca

de tormentas con precipitaciones puntuales que excedan a 50 mm.

Las series anuales de precipitación en los últimos años muestran un decrecimiento de las lluvias hasta alcanzarse valores comprendidos entre 600-800 mm, con tendencia a una menor variabilidad en los últimos tres años.

4.3 DESARROLLO DE TORMENTAS

Las tormentas que afectan a los llanos centrales de Venezuela, presentan características distintas según se originen al principio o a mediados de la época lluviosa. Mientras las primeras presentan poca extensión espacial, ocurriendo frecuentemente como chaparrones durnos aislados y con escasa separación de sus centros de máxima precipitación, las últimas tienen un gran desarrollo areal con núcleos bien definidos, aunque relativamente poco desarrollados. En este último período ya existe un suficiente suministro de humedad a la atmósfera, derivada de las corrientes húmedas ecuatoriales (I.T.C.), que alcanzan a avanzar hasta los llanos, lo cual justifica dicho comportamiento. En ambos casos, sin embargo, la ocurrencia se acompaña de fenómenos eléctricos en la atmósfera y es frecuente observar lapsos de interrupción de la precipitación, cuando dichos mecanismos se activan notablemente.

Parece factible que en el caso de las tormentas ocurridas al iniciarse al período lluvioso, el mecanismo convectivo que produce corrientes ascendentes de aire, es el calentamiento de las masas de aire más cercanas al suelo, de forma que se movilizan celdas o parcelas de aire en forma aislada o asociadas entre sí, lo que favorece la condensación por rápido enfriamiento en los cúmulos, aunque las masas de agua precipitada son reducidas en función a la baja disponibilidad de humedad en estos períodos. A fin de mostrar la distribución de una tormenta, así como la variación de los volúmenes precipitables de acuerdo a los intervalos isoyéticos correspondientes, se muestra en el Gráfico No. 12 la registrada en la región del Guárico central en Julio de 1979; bajo cuyos efectos numerosas pequeñas presas en el eje El Socorro-Tucupido, fallaron, algunas vías de penetración rural fueron destruidas y otras obras de drenaje, como alcantarillas, fueron dañadas además de iniciarse el proceso de erosión del aliviadero de emergencia en la presa El Cigarrón, al almacenarse excesivos volúmenes en el embalse y excederse las cotas de alivio por el aliviadero de emergencia. Intensidades de las precipitaciones para distintas duraciones y períodos de recurrencia como las observadas en la estación

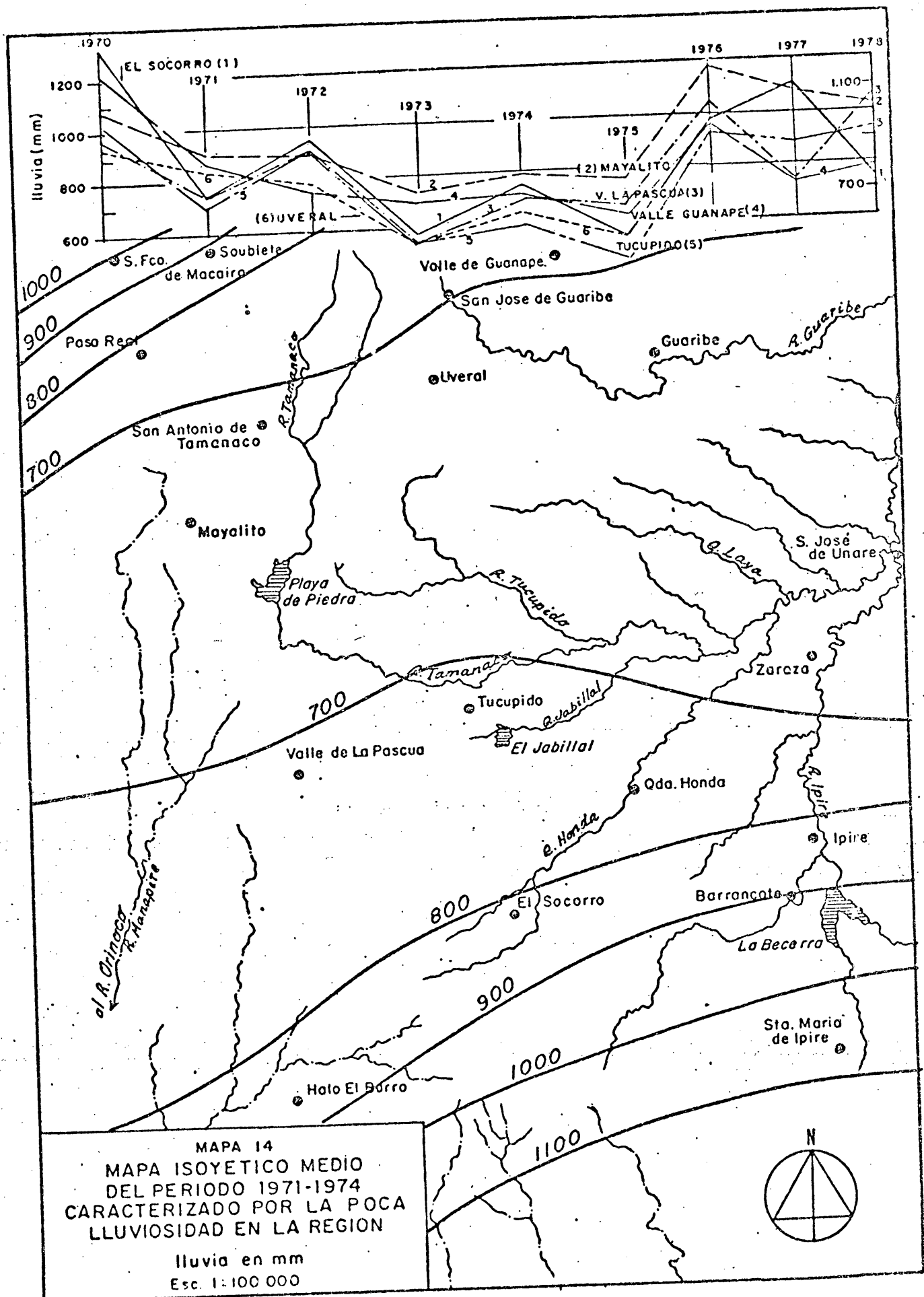
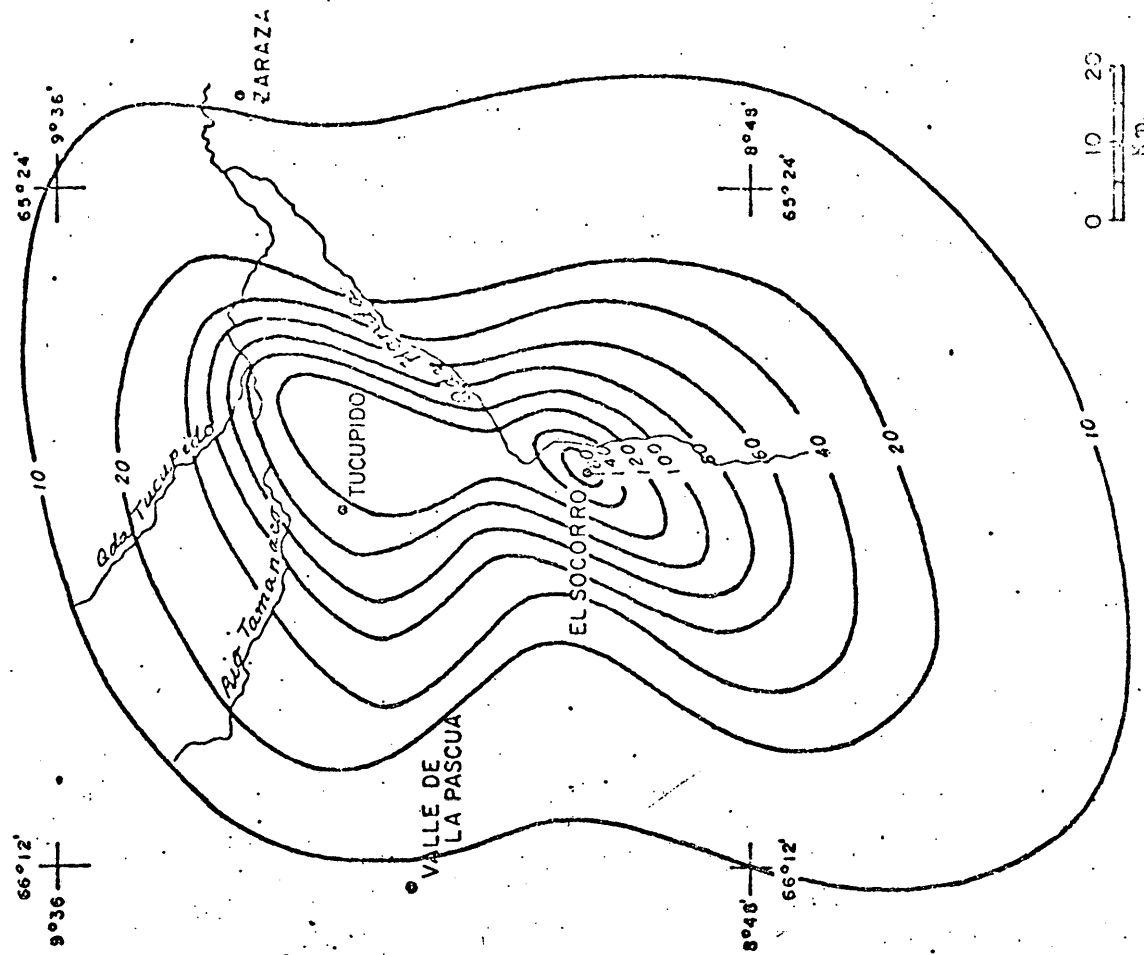
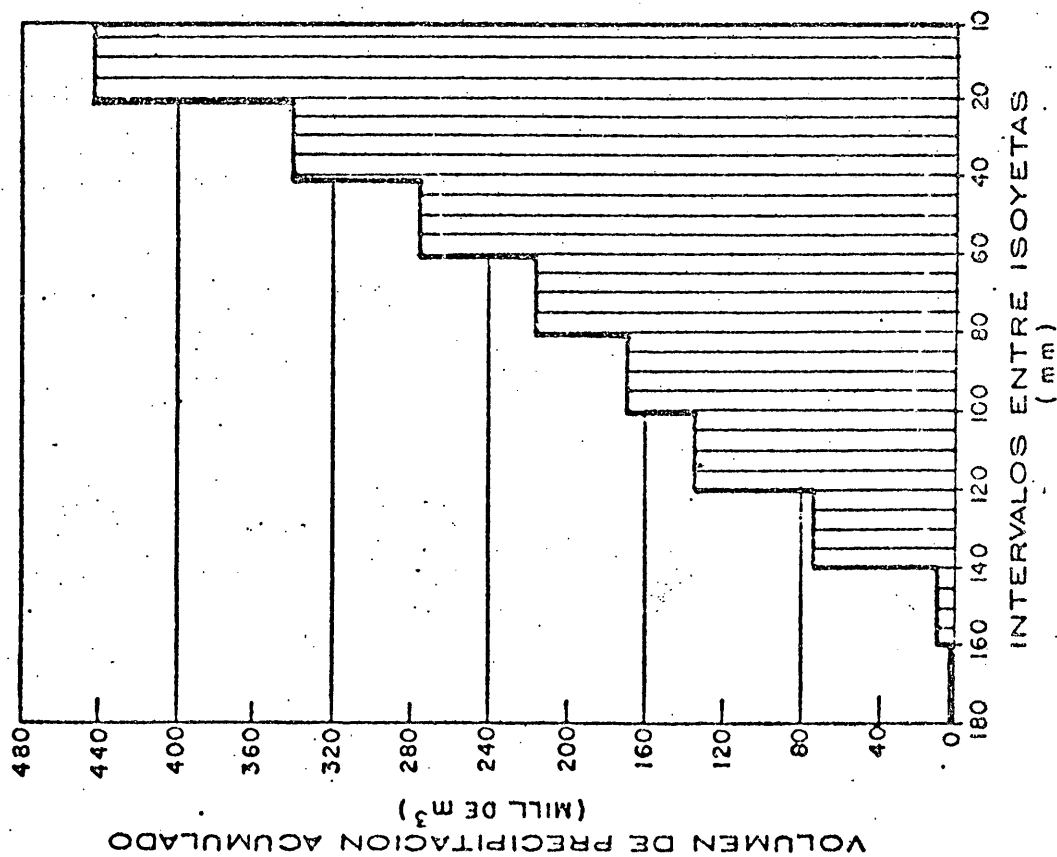
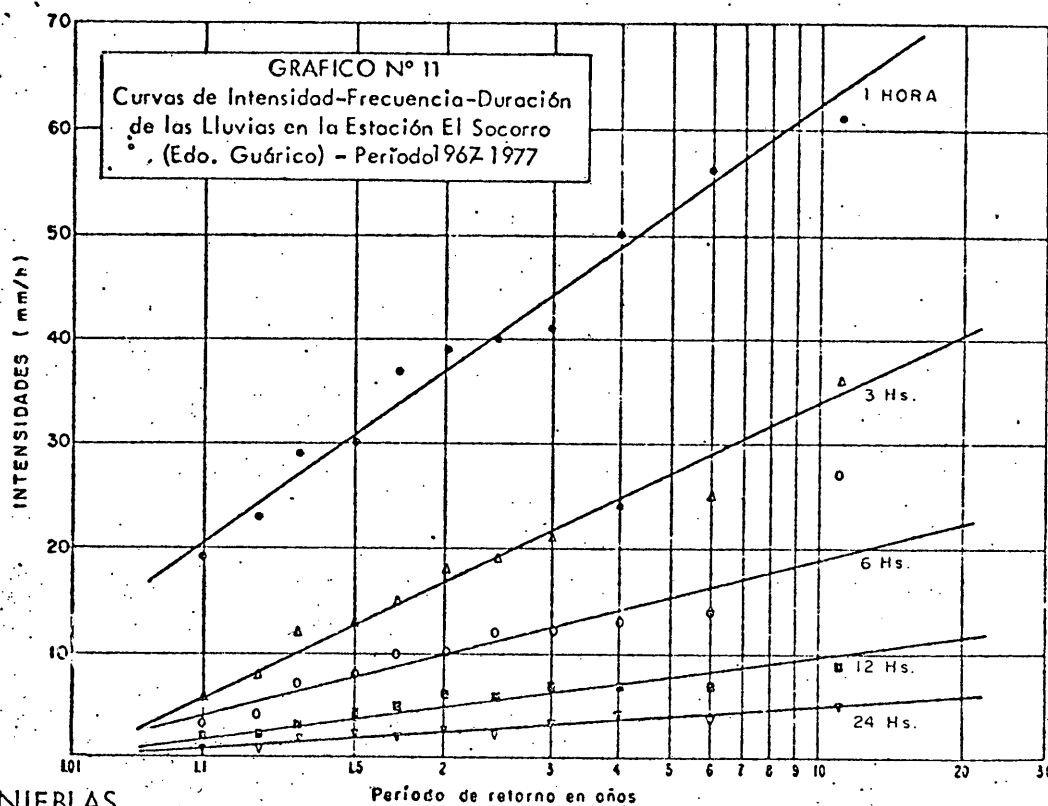


GRAFICO N° 12

DISTRIBUCION ESPACIAL DE UNA TORMENTA
EN EL GUARICO CENTRAL CON INDICACION
DEL VOLUMEN PRECIPITABLE
03/07/79 - DURACION: 12 HORAS



El Socorro, donde se produjo el centro de máxima precipitación son mostradas en el Gráfico 11. Un análisis de frecuencia aplicado a la precipitación con una duración de 24 horas en esta estación mostró que su magnitud tiene una recurrencia de 15 años, valor relativamente bajo, mientras que el desarrollo superficial de la misma tormenta puede considerarse como muy significativo.



4.4 NIEBLAS

A mediados de Diciembre y extendiéndose por casi todo el lapso de sequía, se observa al nivel del suelo la ocurrencia de nieblas (neblinas), nocturnas y persistentes hasta las primeras horas del día, concentrándose tal humedad en las zonas depresivas de ondulaciones durante el proceso donde el rápido enfriamiento del suelo durante la noche, la escasa mezcla vertical en los niveles inferiores de la atmósfera, favorecida por las leves ondulaciones del relieve y la presencia de núcleos de condensación, controlan dicho mecanismo. En este período los suelos con bajo contenido de humedad, además del carácter fino de su textura, poseen un relativo bajo calor específico de $(0,1-0,2 \text{ cal/gr/}^{\circ}\text{C})$ y aunque son sometidos a la insolación diaria bajo condiciones de una escasa pluviosidad, poca nubosidad y cobertura vegetal, experimentan como consecuencia de lo anterior, un rápido enfriamiento. Tal comportamiento puede ser muy distinto cuando ellos se saturan, pudiendo aumentar el coeficiente calórico a valores cercanos a $0,8 \text{ cal/gr/}^{\circ}\text{C}$.

Los núcleos de condensación* tienen distintas fuentes de proveⁿencia como los vientos de la costa Caribe al Norte y del Atlántico al Este, cargados de partículas y cristales salinos; el mismo polvo suspendido desde el suelo durante las horas de alta turbulencia del aire por causa de su calentamiento durante el día (particularmente entre 12 m y 3 pm), así como partículas de cenizas y polvos resultantes de las quemas en la región al final de la época seca, los cuales al actuar como sustancias higroscópicas favorecen la condensación y concentración de la humedad atmosférica a nivel del suelo. Se cree que la rápida regeneración de gramíneas** y pastos en estas regiones, después de las quemas durante y a finales de la época de sequía, responden en parte a la influencia de esta humedad atmosférica fijada al descender la temperatura en el nivel superficial del suelo, enfriado rápidamente durante la noche y aprovechada eficientemente por estas gramíneas que poseen un desarrollo radicular muy superficial y bajos requerimientos hídricos, dando justificación así a los ganaderos y campesinos para quemar potreros y sabanas en este período, de este modo la producción de biomasa es más activa.

4.5 CARACTERISTICAS DE LOS SEDIMENTOS

Muestreos de sedimentos suspendidos para diferentes caudales en la mayoría de estos ríos se han practicado en años recientes (usando muestreadores de la serie USD), bajo diferentes condiciones de caudal. La Tabla No. 4 muestra un resumen de las características de los materiales en diversas estaciones fluviométricas y tramos de los canales indicándose, además, la concentración del sedimento en % en peso.

Los análisis de las muestras se han practicado en estado disperso usando el método de la pipeta.

La fracción con tamaños menores a 0,062 mm muestra relativa abundancia, oscilando en muchas estaciones entre 70-80% y alcanzando valores superiores al 90% en peso. Esta fracción es de gran importancia para determinar la persistencia de la turbiedad de las aguas en los embalses, siendo relativamente alta en casos como el de

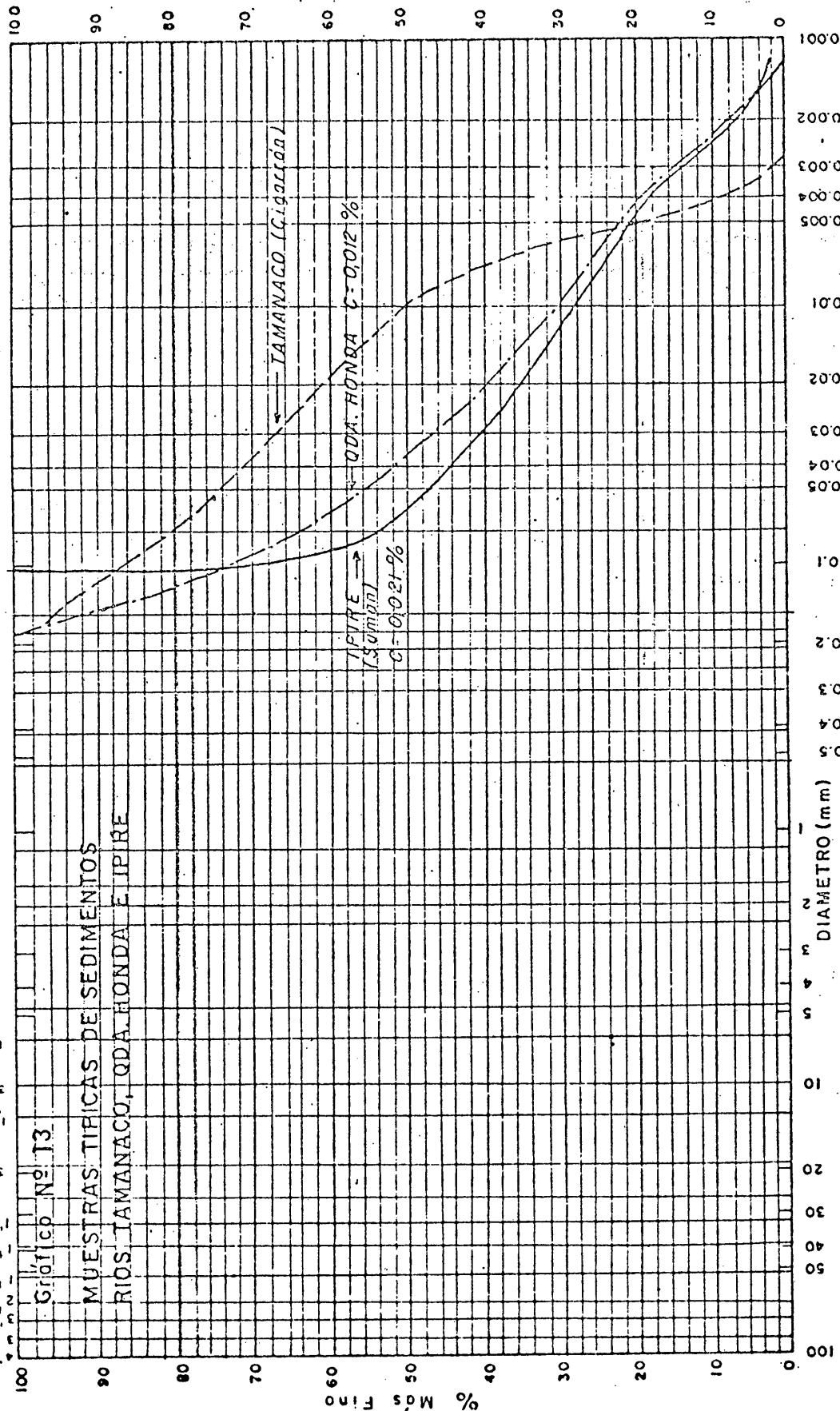
** Retoño del pasto, como lo conocen los llaneros.

* Todas estas partículas finas en suspensión en el aire se les conoce genéricamente como aerosoles.

GRANULOMETRÍA DE SEDIMENTOS

Sep. 26
AÑO 76- RIO-EST. VARIAS MUESTREADOR: METODO:

CLASIFICACION M.I.T. TAMIZ ARCILLA LIMO ARENA GRAVA



FECHA	% PESO (mm > 200)	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA	FECHA	% PESO (mm > 200)	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA
ENE.						MAY.					
FEB.						JUN.					
MAR.						JUL.					
ABR.						AGO.					
						SEP.					
						OCT.					
						NOV.					
						DIC.					

TABLA N° 4

PROPIEDADES GRANULOMETRICAS DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS () Y MATERIALES EN LAS PLANICIES FLUVIALES ()
CUENCA DE UNARE
% EN PESO EXISTENTE ENTRE LOS DIAMETROS (mm) INDICADOS

Fecha	< 0.002	0.002-0.004	0.004-0.01	0.01-0.02	0.02-0.04	0.04-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	Q m ³ /seg	C (%)	Comentarios
Unare en Clarines	24-01-69	20	10	30	24	6	8	2	-	0,07	
	19-08-69	8	8	17	15	20	28	4	-	0,40	
	25-09-69	13	6	12	10	15	44	-	7,0	0,058	
	25-09-69	12	7	12	10	13	44	-	-	0,049	
	25-09-69	8	8	10	16	22	28	-	-	0,047	
	17-07-69	5	9	12	10	15	20	20	-	0,20	
	18-06-70	45	19	14	6	8	8	-	101,0	0,11	
	27-07-71	25	27	30	12	6	4	-	431,0	0,14	
	17-10-72	50	24	12	4	4	4	-	-	0,06	
	17-11-72	57	21	8	6	7	7	-	14,0	0,03	
Unare en Chaparro	21-11-73	22	5	7	6	10	50	-	19,0	0,14	
	07-07-74	14	8	13	11	17	38	-	156,0	0,42	
	15-09-73	37	15	14	13	6	15	-	-	0,70	
	13-07-70	22	16	18	11	9	12	-	193,0	0,10	
	19-03-70	9	9	24	23	20	16	-	141,0	0,03	
	08-05-70	8	8	8	6	4	12	32	91,0	0,14	
	27-10-70	5	5	10	8	12	16	-	5,0	0,03	
	24-10-70	10	8	20	14	10	24	14	19,0	0,70	
	25-11-70	20	10	26	10	11	15	18	2,5	0,25	
	13-08-70	14	6	10	18	12	48	-	46,1	0,63	
Guaribe en Aragua en La Danta La Mangera	24-07-70	17	9	13	10	12	40	-	34,0	0,46	
	28-06-70	16	3	3	4	0	34	40	4,54	0,21	
	28-03-69	-	-	-	2	9	18	28	-	Talud izquierdo	
		-	-	-	-	-	27	24	-	Talud derecho	
		-	-	-	-	1	9	26	-	Material de lecho	
	Guanope en Guasimita 21-04-69	-	-	-	15	33	48	4	-	Material de lecho	
	Los Raices en Los Raices 15-04-69	-	-	-	17	25	25	33	-	Talud izquierdo	
		-	-	-	9	17	26	42	-	Talud derecho	
		4	2	10	20	64	-	-	-	Material de lecho	
		-	-	-	-	1,0	3	12	-		
Tamanaco en Sn. Antonio	15-04-69	-	-	2	11	10	25	22	22	Talud izquierdo	
		-	-	-	12	23	26	19	20	Talud derecho	
		4	3	9	14	28	42	-	-	-	
		-	3	6	11	20	60	-	-	-	
		-	-	-	-	4	13	83	-	Material de lecho	

La Becerra y La Estancia, donde se han medido valores de 100 ppm en áreas muy distantes de los deltas, ambos mantienen elevadas turbiedades como resultado de estas proporciones en la composición granulométrica, destacándose la reducida actividad del fitoplankton en tales embalses debido a la escasa penetración de la luz solar.

En algunos cauces donde se conservan almacenajes temporales de agua durante y después del período lluvioso, en las zonas depresivas de los lechos, se mantiene elevada la turbiedad, debido al no asentamiento de las partículas finas. Una comparación (Gráfico No. 13 de los porcentajes de arcilla en aguas estancadas de los ríos Ipire y Qda. Honda, (Septiembre 1976), indican que entre un 5-15% se mantiene en suspensión, resultando grandes analogías entre los tipos de materiales en ambos ríos, aun cuando la concentración difiere en razón de 2.

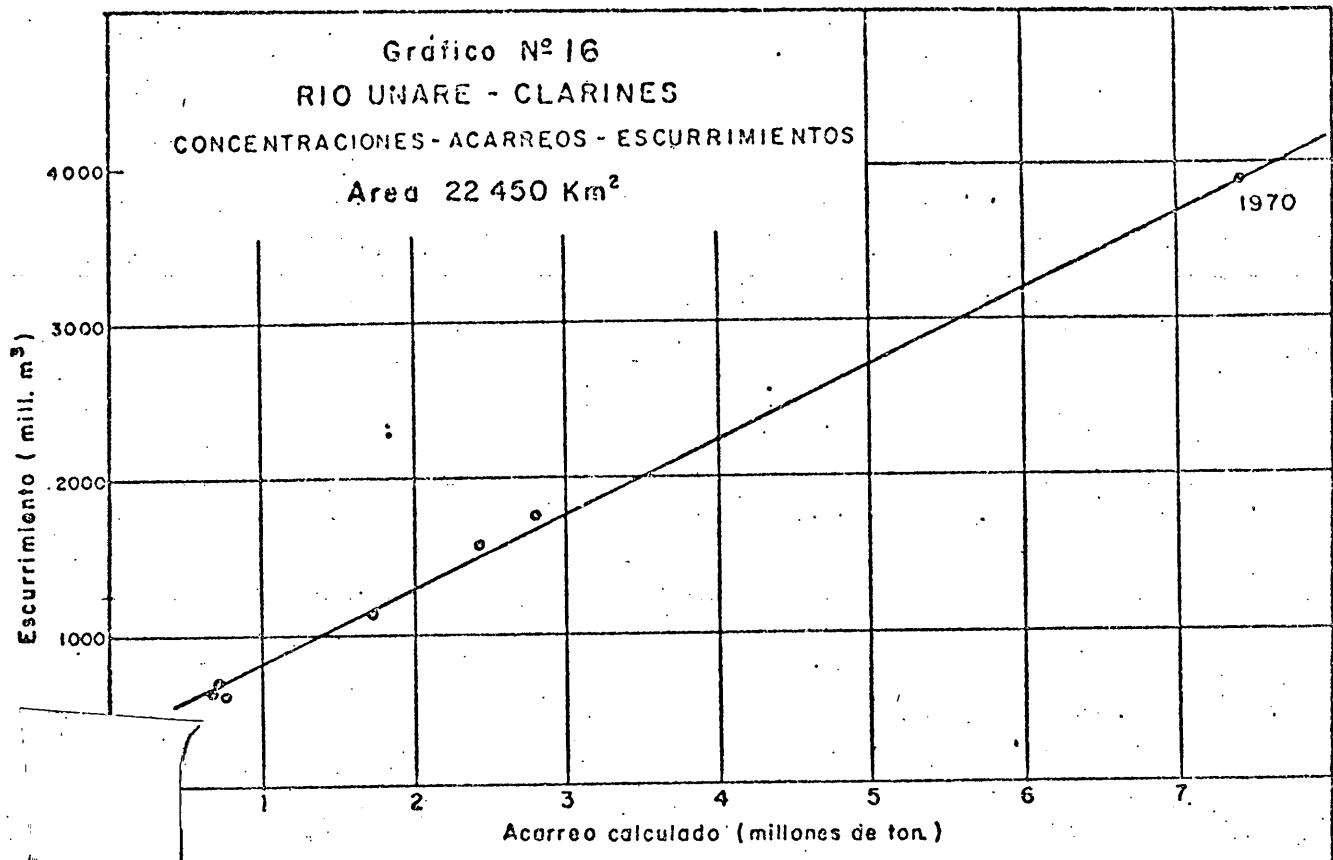
Como resultado de los análisis granulométricos se concluye que el mayor porcentaje de los sedimentos transportados por las corrientes superficiales en la cuenca del Unare, son predominantemente finos y aun cuando en los lechos y en las planicies fluviales de los mismos existe abundancia del material arenoso, la proporción de limos-arcillas transportados aumenta al aproximarse a las zonas inferiores de la cuenca.

La coloración de los sedimentos es pardo-amarillenta como resultado del carácter de formaciones fino-argiláceas. Estos se toman pardos-oscuros, cuando son acumulados en zonas depresivas y aisladas de la atmósfera, como embalses y lagunas.

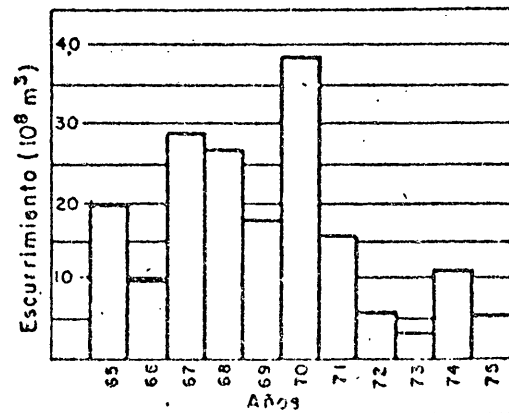
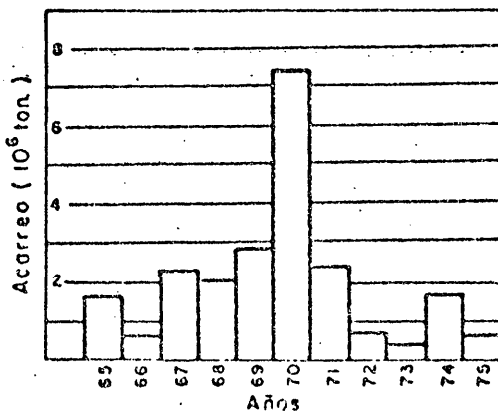
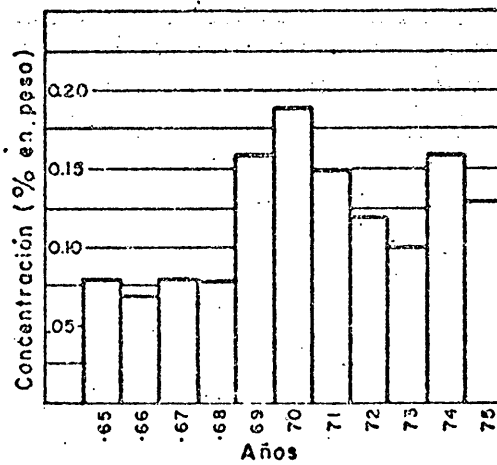
4.6 APORTES SOLIDOS TOTALES DE LA CUENCA

4.6.1 RIO UNARE

El Gráfico No. 17 muestra los datos de acarreo sólido y escurrimientos del río Unare en Clarines para el período 1964-1975, donde puede notarse la ocurrencia de magnitudes variables para diferentes años. En esta estación hay efecto de remanso en estiaje, debido a las reducidas pendientes del canal y lo inmediato de la costa. Estos son menores durante los caudales mayores del período lluvioso, cuando se registra el mayor porcentaje de escorrentía y transporte. En los últimos cuatro años se nota una reducción del rendimiento del río, lo cual se atribuye a que el período se ha caracterizado por un lapso de sequía en toda la región y en menor grado a la influencia de



UNARE EN CLARINES Gráfico N° 17
DIAGRAMAS DE BARRAS
Período 1964-75



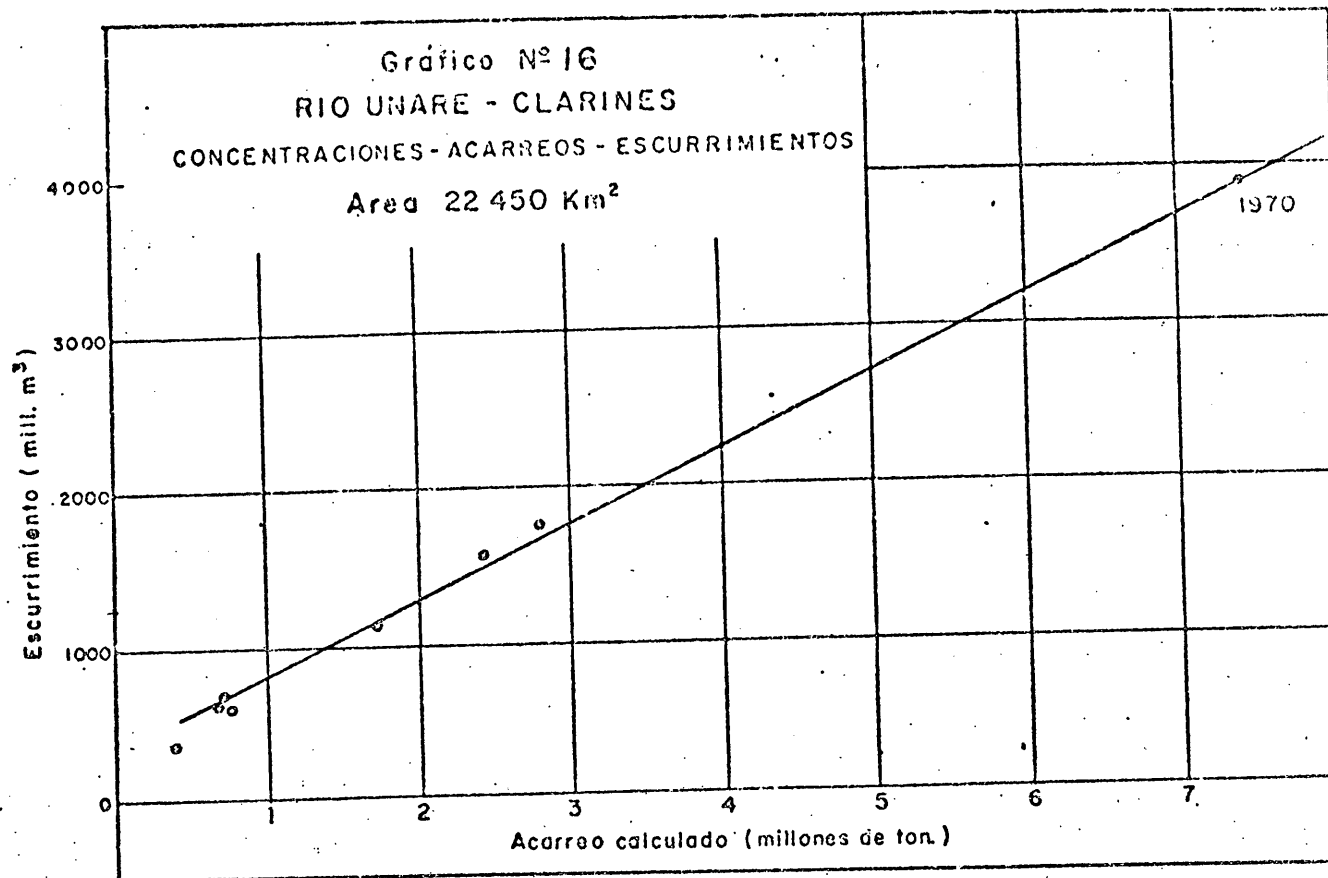
embalses reguladores en la cuenca alta (La Estancia, Playa de Piedra, Jabillar, La Becerra, etc.).

Los aportes sólidos reflejan que la denudación de la cuenca es relativamente baja con rendimiento sólido unitario de 100 Ton/Km²/año, una tercera parte de los calculados en la cuenca alta de Tamanaco.

El Gráfico No. 16 ilustra la tendencia de los escurrimientos-acarreos y la relación entre los mismos, cuando magnitudes anuales han sido consideradas. Tales diagramas señalan una buena correspondencia entre las magnitudes bajas o elevadas respecto a otras estaciones distantes de la cuenca, lo cual indica que los años secos o lluviosos, cuando ocurren, afectan a áreas geográficamente amplias dentro de la cuenca.

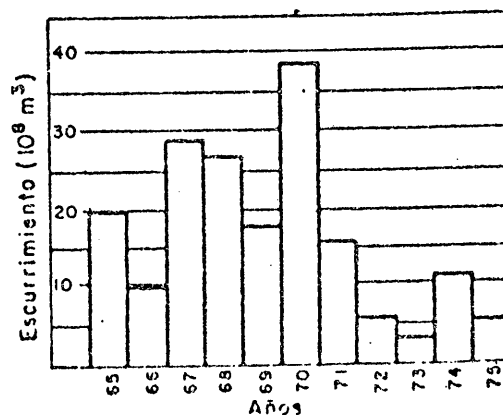
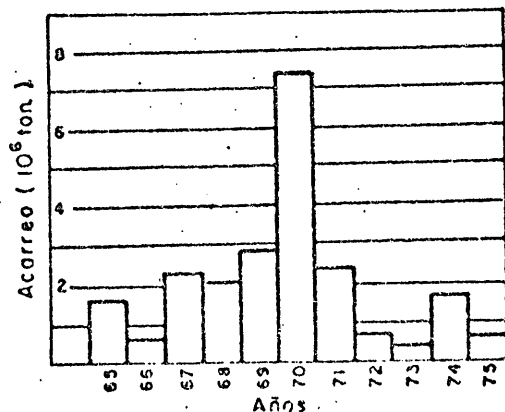
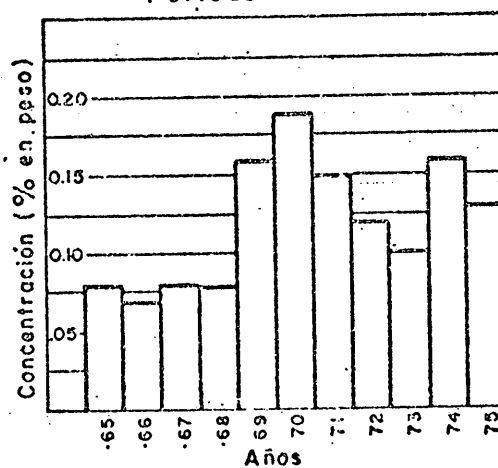
Este rendimiento sólido de la cuenca del Unare no puede considerarse baja; sin embargo, cuando se relaciona con la longitud de los canales y no deja de ser significativa cuando se observa que el mayor porcentaje corresponde a materiales finos que son los más importantes componentes de los suelos marginales a los cauces y planicies, los que controlan, además de la estabilidad estructural del suelo, la calidad edáfica y su productividad. Así, 5 mm removidos de la capa de mayor enriquecimiento de una hoya con suelos tan pobres como la del Unare, puede ser más crítico que la denudación de 10 cm en otras cuencas con suelos edáficamente más evolucionados y de mayor espesor; especialmente porque se requieren largos períodos de tiempo para que dichos suelos se formen y se hagan productivos.

Dentro de una región tropical son anormalmente bajas tales magnitudes observadas en rocas sedimentarias; aunque en este caso el carácter estable de los suelos de la cuenca, los reducidos gradientes fluviales de la mayoría de los canales y su gran extensión, contribuyen a que las precipitaciones por su distribución y las bajas pendientes, no generen caudales y volúmenes excesivos sobre los canales principales al operar la regulación de la escorrentía a través del sistema de drenaje, en la misma forma operan las pérdidas por evaporación e infiltración en los suelos. No existen datos sobre suministro sólido en los frentes erosivos de las mesas los cuales podrían resultar altos respecto a otros sectores, tal como se evidencia del carácter erosional del relieve y de los depósitos coluviales



RIO UNARE EN CLARINES

Gráfico Nº 17
DIAGRAMAS DE BARRAS
Período 1964-75



(arenas), en las regiones transicionales de pendiente, pero hasta los tramos inferiores del Unare sólo los componentes finos del sedimento pueden tener una real importancia desde el punto de vista del aprovechamiento del agua y con influencia sobre obras hidráulicas como embalses y tomas.

El Gráfico No. 15 muestra la tendencia de la producción sólida del río Unare en la estación Puente Unare, en la parte central de la cuenca, durante dos años consecutivos, cuando se realizaron mediciones ocasionales de caudales y acarreos. En el primero, una distribución del transporte que refleja alta correlación con la esorrentía y distribución de las lluvias, es obtenido; mientras que en 1963 el período de esorrentía y transporte se extendió notablemente con magnitudes relativamente altas de este último a finales del período lluvioso.

La producción de sedimentos hasta la estación en Puente Unare se estima sea del orden de $1,2 \times 10^6$ Ton/año, lo cual representa para este período un rendimiento unitario de 650 Ton/Km²/año.

Los Gráficos 16 y 17 muestran las correlaciones acarreos-escurrimientos así como los diagramas de barras de los mismos para el período considerado 1964-1975, destacándose una definida correlación lineal y resaltando el año 1970 como el de más elevadas magnitudes. La Tabla No. 4 contiene los valores evaluados en la estación Unare en Clarines, donde los valores medios de acarreos anuales son de $2,2 \times 10^6$ Ton/año, que representa un rendimiento unitario relativamente bajo de 100 Ton/Km²/año, o sea, una lámina erosional de la cuenca de aproximadamente 0,1 mm/año, magnitud actual que puede considerarse como baja, en comparación a las registradas en otras grandes cuencas sedimentarias.

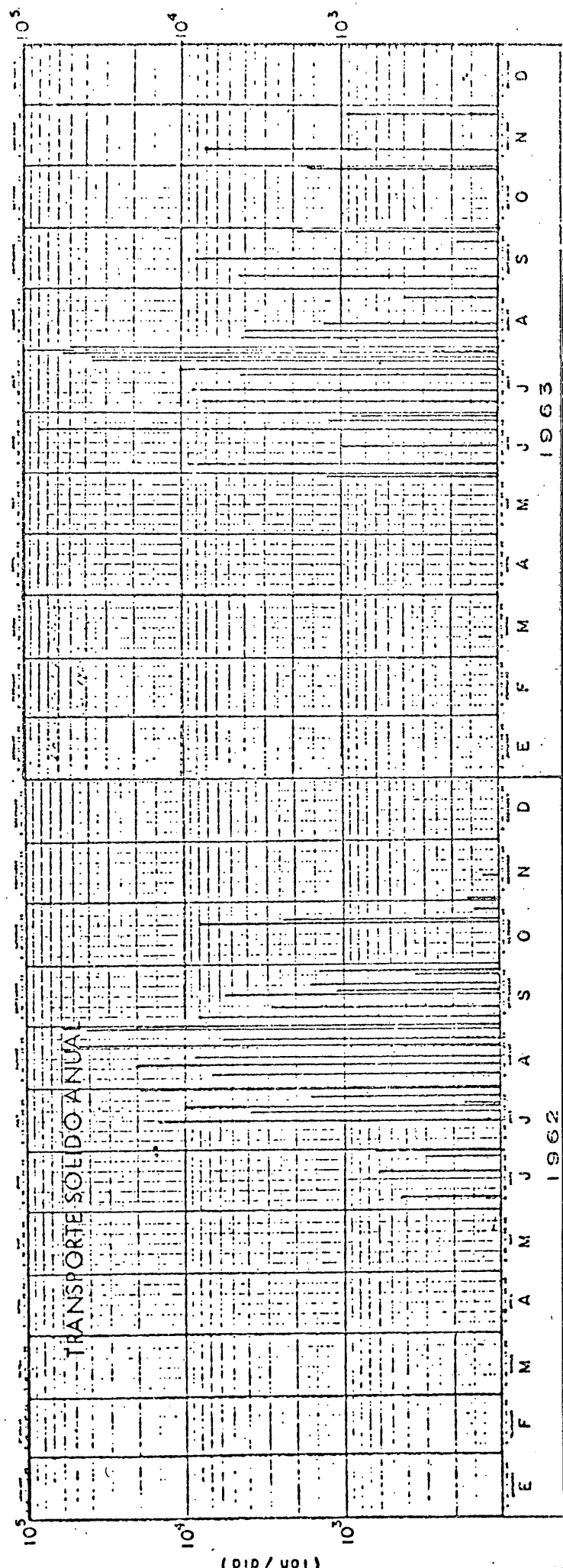
La distribución de las magnitudes de acarreos y escurrimientos señalan una reducción notable en los últimos cinco años del período, lo cual coincide con la marcada tendencia a la reducción de las precipitaciones en la mayoría de las estaciones pluviométricas. La existencia de años anormales en relación al transporte sólido y esorrentía, que exceden notablemente a los valores medios, es una situación normal en áreas con un régimen hidroclimático como el de la cuenca de Unare; pero dada la condición de poseerse una relativamente corta extensión de los registros, hace difícil hacer pronósticos de la recurrencia de estos eventos. Extrapolaciones basadas en análisis de frecuen-

DATOS DE ESCURRIMIENTO Y TRANSPORTE SÓLIDO EN EL RÍO ARAGUA. LA MADERA. 1970

Fecha (día/mes)	Alt.mira (m)	Temp. agua °C	Caudal m ³ /seg.	% Peso	% arena	% limo	% arcilla	Transp. sólido (ton/día)	d50 (mm)
25/05	0,31	28,9	1,00	0,13	-	-	-	112,32	
10/06	0,48	27,9	2,69	0,36	-	-	-	836,7	
28/06	0,55	28,5	4,54	0,21	75	20	5	823,7	0,080
15/07	1,11	28,6	18,1	1,07	-	-	-	16733,1	
15/07	1,24	28,8	32,2	0,61	-	-	-	11700,3	
24/07	1,71	29,4	33,9	0,46	32	50	18	13473,8	0,020
05/08	1,47	30,1	23,4	0,18	-	-	-	3639,2	
06/08	1,60	30,2	31,1	0,67	-	-	-	18005,2	
13/08	2,23	29,2	46,1	0,63	46	44	10	25093,2	0,035
28/09	0,43	28,6	2,51	0,28	24	54	22	563,2	0,012
24/10	1,16	29,0	18,8	0,79	32	60	8	12832,1	0,020

GRÁFICO N° 15

RÍO UNARE EN PTE UNARE



cias con los datos (11 años) acá señalados, sugieren que magnitudes correspondientes de acarreos y escurrimientos con períodos de retorno de 25 años, serían del orden de 4×10^6 Ton y 4.800 mill de m^3 respectivamente. Lo anterior sugiere que en la cuenca de Unare el año 1970 fué un año extraordinario en lo relativo al carácter erosional y transporte sólido.

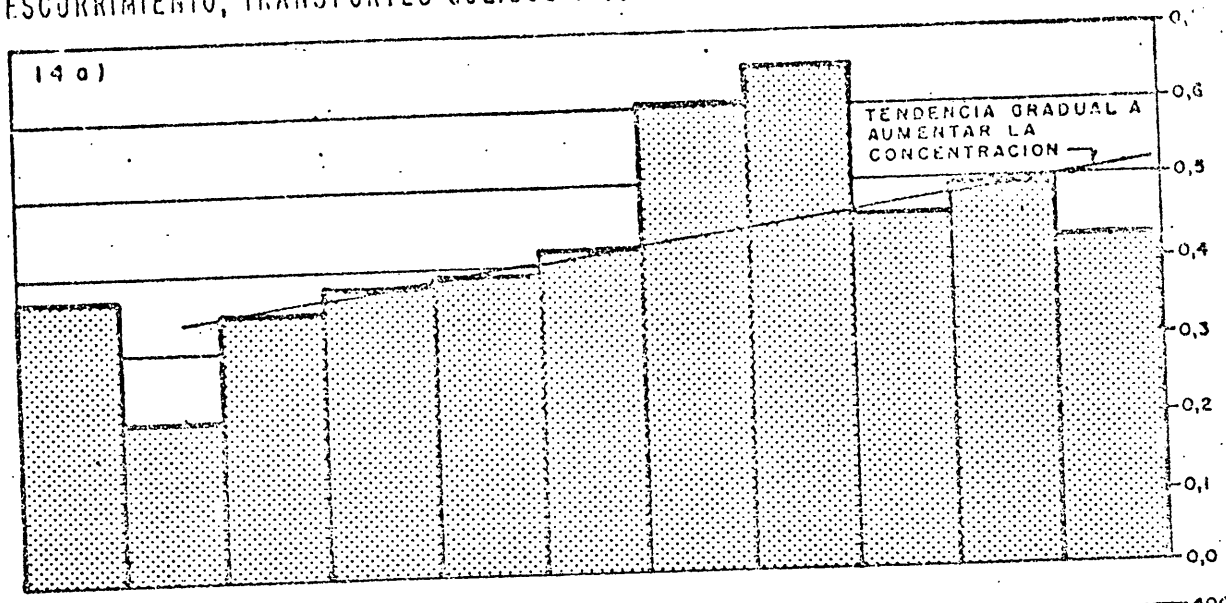
4.6.2 RIO TAMANACO

Se muestran en el Gráfico No. 14, diagramas de barras de los datos de acarreos-esorrentía para el período 1965-1975, en la estación Tamanaco en San Antonio, correspondiéndole a los años 1966-1967 y 1969-1970 los mayores rendimientos líquidos y en consecuencia los mayores transportes. El período 1971-1975 (no mostrado completamente), se ha caracterizado en la región por ser relativamente seco y esto es bien ilustrado por los datos de los primeros tres años.

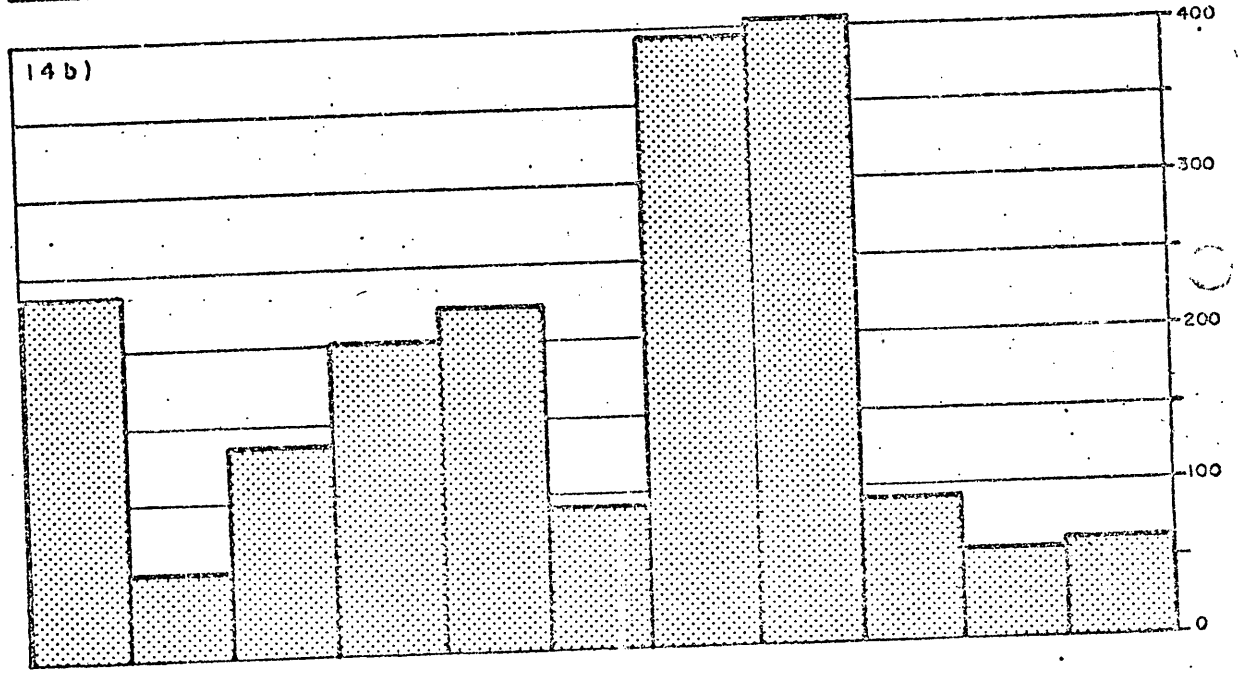
En el Gráfico No. 14-a se indican las concentraciones medias anuales del mismo período, observándose como aspecto de interés que aun cuando hay una notable variabilidad del escurrimiento y el transporte, existe una definida tendencia con el tiempo, a partir de 1965, a incrementarse ligeramente las concentraciones del sedimento, aun en años que reflejan haber producido un escaso rendimiento líquido. La razón de este aumento en la concentración puede obedecer al laboreo agrícola en la región en los últimos años, a la creciente deforestación de los bosques naturales de la cuenca y en menor grado a cambios o factores climáticos, lo que ha causado incrementos de la erosión y de las ratas de suministro sólido, siendo el aumento del orden de 0,1% por cada 5 años. Es evidente que tomando en cuenta los valores recientes observados en la estación San Antonio, puede esperarse que se desmejore la calidad de las aguas en el embalse de Playa de Piedra, lo cual sugiere un mayor control de la actividad humana en la cuenca alta de Tamanaco.

DIAGRAMAS DE BARRAS · RIO TAMANACO EN SAN ANTONIO DE TAMANACO
ESCURRIMIENTO, TRANSPORTES SOLIDOS Y CONCENTRACIONES

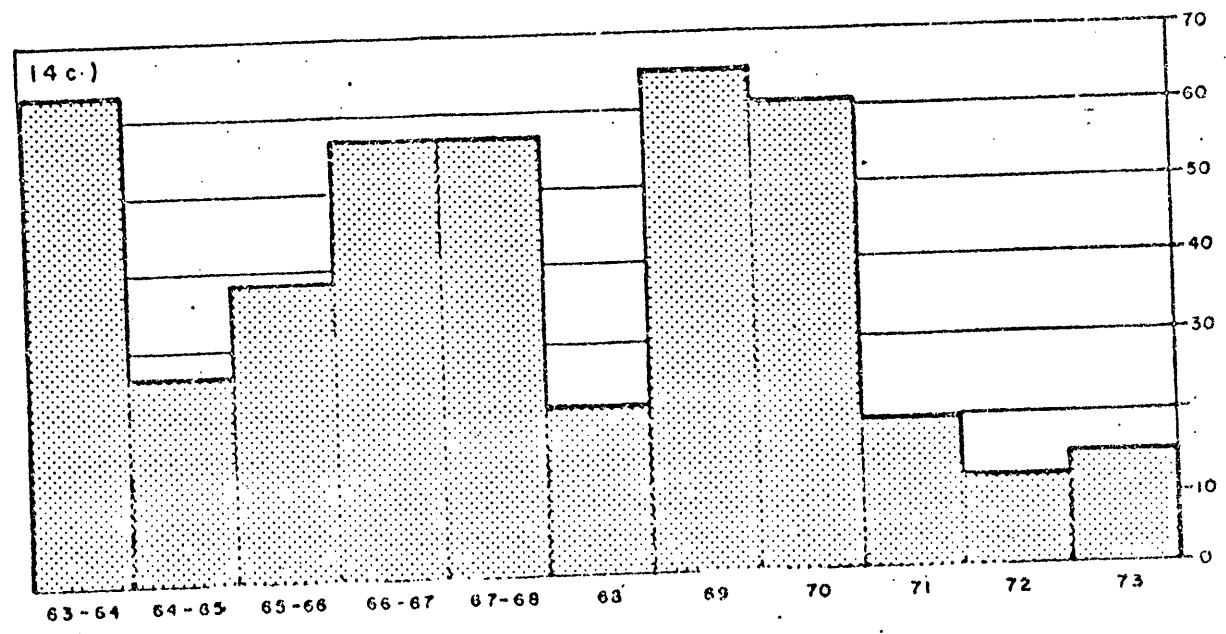
CONCENTRACION % PESO



TRANSPORTE EN SUSPENSION (10³TON)



ESCURRIMIENTO (10⁶ m³)



cias con los datos (11 años) acá señalados, sugieren que magnitudes correspondientes de acarreo y escurrimientos con períodos de retorno de 25 años, serían del orden de 4×10^6 Ton y 4.800 mill de m^3 respectivamente. Lo anterior sugiere que en la cuenca de Unare el año 1970 fué un año extraordinario en lo relativo al carácter erosional y transporte sólido.

4.6.2 RIO TAMANACO

Se muestran en el Gráfico No. 14, diagramas de barras de los datos de acarreo-esorrentía para el período 1955-1975, en la estación Tamanaco en San Antonio, correspondiéndole a los años 1966-1967 y 1969-1970 los mayores rendimientos líquidos y en consecuencia los mayores transportes. El período 1971-1975 (no mostrado completamente), se ha caracterizado en la región por ser relativamente seco y ésto es bien ilustrado por los datos de los primeros tres años.

En el Gráfico No. 14-a se indican las concentraciones medias anuales del mismo período, observándose como aspecto de interés que aun cuando hay una notable variabilidad del escurrimiento y el transporte, existe una definida tendencia con el tiempo, a partir de 1965, a incrementarse ligeramente las concentraciones del sedimento, aun en años que reflejan haber producido un escaso rendimiento líquido. La razón de este aumento en la concentración puede obedecer al laboreo agrícola en la región en los últimos años, a la creciente deforestación de los bosques naturales de la cuenca y en menor grado a cambios o factores climáticos, lo que ha causado incrementos de la erosión y de las ratas de suministro sólido, siendo el aumento del orden de 0,1% por cada 5 años. Es evidente que tomando en cuenta los valores recientes observados en la estación San Antonio, puede esperarse que se desmejore la calidad de las aguas en el embalse de Playa de Piedra, lo cual sugiere un mayor control de la actividad humana en la cuenca alta de Tamanaco.

4.6.3 RIO ARAGUA

El río Aragua drena parte del borde oriental de la cuenca de Unare donde están expuestas rocas de Freites y remanentes erosionales de Mesa, (véase Mapa Geológico, Mapa No. 2), dentro de un sector que conjuntamente con el borde meridional de la hoya, representa las zonas más erosionables y con más altas ratas de suministro sólido.

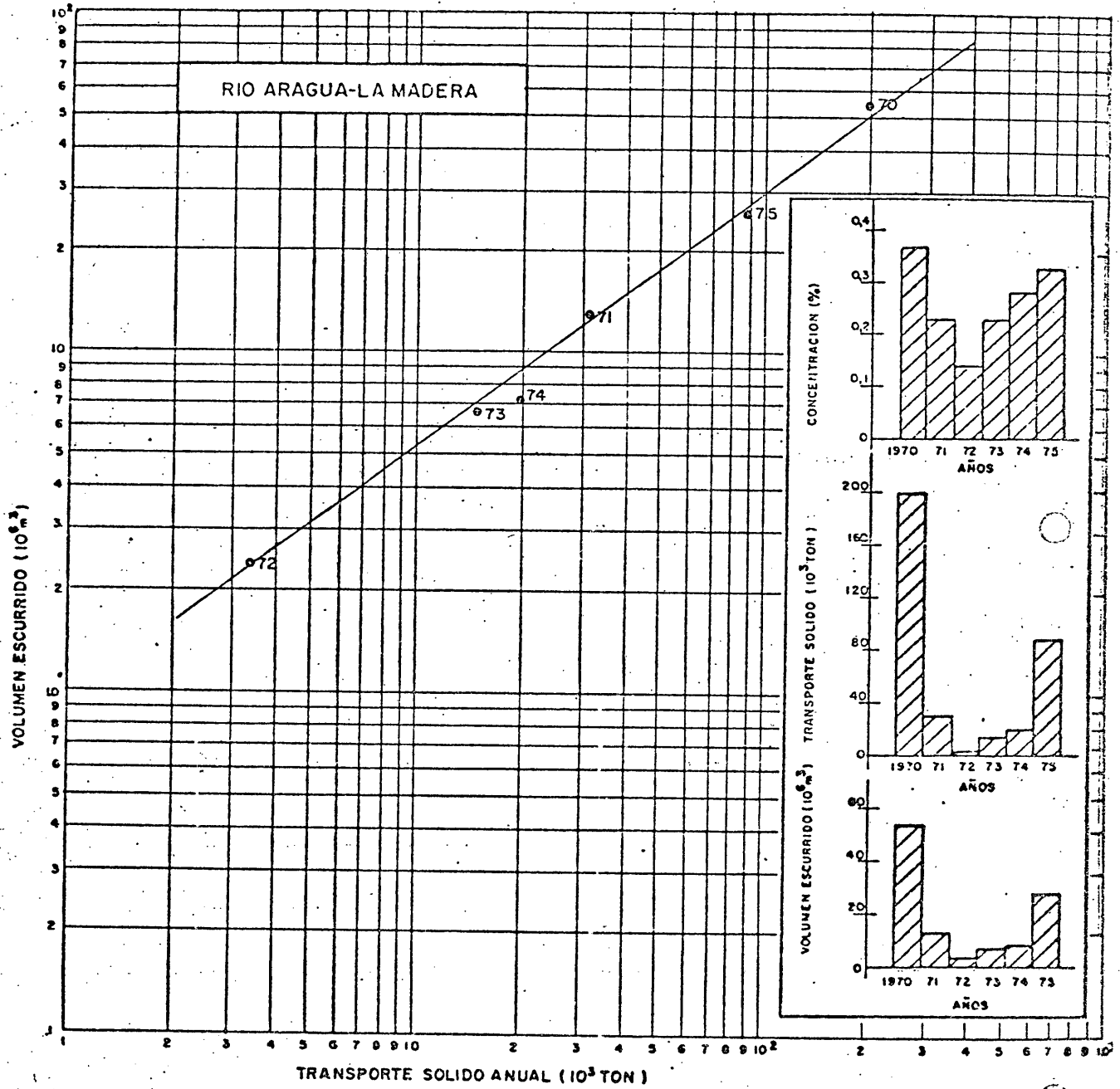
El Gráfico No. 18 muestra la tendencia de la producción de sedimentos-escorrentía y variación de las concentraciones anuales, reflejándose en los mismos para el período considerado, la tendencia reducida de los rendimientos durante el lapso de sequía que afectó en general a toda la cuenca del Unare y que alcanzó su condición más crítica en 1972.

Los diagramas muestran altos transportes para años de elevados rendimientos líquidos, obteniéndose concentraciones anuales medias de 0,36% en peso (1970). La tendencia en las relaciones acarreo-transportes es bien definida y se han usado para los cálculos de las curvas medias de sedimentación del período.

La Tabla No. 5 muestra datos básicos del escurrimiento, caudales, mediciones térmicas, concentraciones y tipos de sedimentos para diferentes condiciones del río durante el período lluvioso de Mayo a Octubre en la estación La Madera, el cual mostró la mayor magnitud de escorrentía y transporte del período, resultando las relativas altas concentraciones del sedimento (col. 5) y el alto porcentaje de la fracción fina para diferentes condiciones de caudal. Este río contribuye con sus aportes al embalse La Estancia, siendo responsable de la turbiedad de las aguas durante la época lluviosa debido al alto porcentaje de la fracción fina en el sedimento. Cálculos tentativos del transporte para el período 1970-1972, mostró magnitudes de 60.000 Ton/año; si se considera que la fracción fina es dominante, esto puede representar hasta 70.000 m³/año.

La presencia del sedimento fino es un factor negativo en este embalse para el desarrollo activo de las algas.

GRAFICO Nº 18



4.7 COMPARACION DE LAS CURVAS DE SEDIMENTACION. SUBCUENCAS DEL RIO UNARE

Las curvas de sedimentación son relaciones gráficas que ligan a escala logarítmica el transporte sólido medido en una sección respecto al caudal líquido. Cuando se comparan entre sí para ríos de una región, pueden dar un mejor conocimiento de las formas de transporte, de las ratas de suministro sólido de las cuencas y de los tipos de sedimentos aportados por las corrientes superficiales. Estas curvas para las diversas estaciones consideradas, tienen una pobre definición debido a las pocas mediciones. Sus tendencias mostradas en los Gráficos Nos. 19 y 20 señalan en casos pobre correlación, en otros tendencias uniformes de la concentración media, dada por los valores inversos de las pendientes de las rectas y en otros casos similares magnitudes de transporte para rangos definidos del caudal líquido, como puede observarse para los ríos Qda. Honda. Guere y Unare, en rangos de caudal inmediatos a $10 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Estas relaciones pueden expresarse analíticamente en la forma:

$$Q_s = K Q^n \dots\dots\dots (15)$$

donde la pendiente $-n-$ en unidades consistentes, representa una medida de la concentración media $-C_m-$; diferenciando respecto a Q se tiene:

$$C_m = \left(\frac{d Q_s}{d Q} \right) = n K Q^{n-1} \dots\dots\dots (16)$$

Como la descarga sólida suspendida es independiente del caudal, las relaciones dadas arriba y deducidas según el comportamiento del régimen del río en altos caudales, son indicadoras de cómo varía el transporte del sedimento de lecho ($n \geq 1,0$) y el suministro sólido al canal. Valores inferiores a 2 indican que el comportamiento de las curvas se restringe a intervalos de bajos caudales en los ríos.

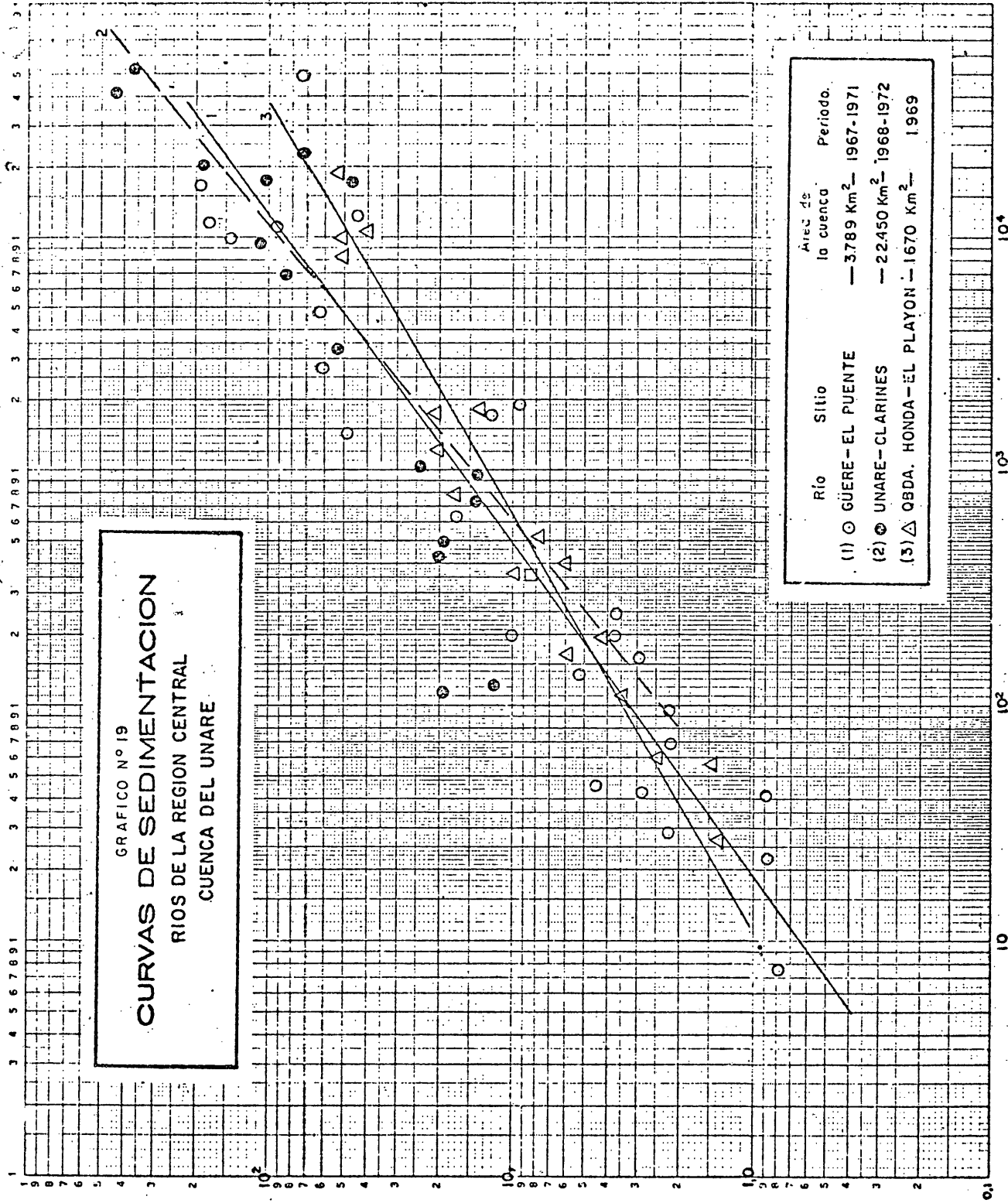
El caso de los contribuyentes y el propio Unare en el sector central y en la zona de descarga inmediata al mar, no deja de ser interesante, (Gráfico No. 19). Los muestreos para tres estaciones con áreas drenadas muy diferentes, señalan deficiente correlación, calculándose de la tendencia de los puntos de las curvas, una concentración media de $0,0158 \text{ Kg/m}^3$. Puede notarse en estas curvas una buena dependencia entre los caudales líquidos y el transporte sólido, con variaciones no relevantes de las concentraciones medias del sedimento de

GRAFICO N° 19
CURVAS DE SEDIMENTACION
RIOS DE LA REGION CENTRAL
CUENCA DEL UNARE

GASTO (m³/seg)

ACARREO EN SUSPENSION TON/DIA

Río	Sitio	Area de la cuenca	Periodo.
(1) ○	GUERE-EL PUENTE	3789 Km ²	1967-1971
(2) ⊗	UNARE-CLARINES	22450 Km ²	1968-1972
(3) △	QBDA. HONDA-EL PLAYON	1670 Km ²	1969



una región a otra. Esto es probablemente un reflejo de la homogeneidad litológica, además la mayor fracción del sedimento aportado y movido a través de los cauces principales, está compuestos por carga suspendida "lavada" y en menor cantidad por formas de transporte como descarga de lecho.

La notable dispersión de los puntos correspondientes a muestreos en la estación Unare en Clarines, dentro de caudales menores a $25 \text{ m}^3/\text{seg}$, indicando magnitudes de transporte más bajas que las señaladas por la extensión de la curva de sedimentación en sus partes medias y altas, es atribuido al efecto de reducción de velocidades del flujo debido al represamiento del río por el mar y la acción de mareas en las áreas costeras. En estas condiciones puede producirse una reducción del transporte, particularmente del sedimento más grueso. La Tabla No. 6 es un resumen de las características físicas, aportes de escorrentía y sólidos de diversas subcuencas, señalándose además el comportamiento de las relaciones $Q_s - Q$, algunas de ellas mostradas en los Gráficos Nos. 19 y 20. Es de señalarse la conveniencia de definir más apropiadamente estas relaciones con muestreos correspondientes a crecientes, las cuales han sido poco muestreadas anteriormente a impedir extrapolar estas curvas hasta caudales elevados.

TABLA N° 6

COMPARACION DE FACTORES FISIOGRAFICOS, HIDROLOGICOS Y SEDIMENTOLOGICOS
SUBCUENCAS DEL RIO UNARE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Rto-Estación	Elevación Máxima (m s.n.m.)	Area(km ²)	Long.cauce (Kms)	Pendiente (m/Km)	Perímetro (Kms)	Esc.anual (10 ⁶ m ³)	Acorreo anual. (10 ⁶ ton)	Ren.sólido (ton/Km ²)	Elevación (m s.n.m.)	Relación (Q/Qs)
Aragua-La Madera	280	1.270	130	2,50	170	25	60	475	120	$Q_s = 95 \text{ Q}^{1.48}$
Guere-Puente	285	3.785	160	1,00	290	115	160	425	80	$Q_s = 20 \text{ Q}^{1.45}$
Tamanaco-Sn. Antonio	640	498	60	1,75	100	45	180	360	190	$Q_s = 65 \text{ Q}^{1.85}$
Qda. Honda-Playón	200	1.710	100	1,50	180	130	130	80	70	$Q_s = 12 \text{ Q}^{1.76}$
Guanape-Guasimita	460	220	60	3,50	86	30	100	450	75	$Q_s = 200 \text{ Q}^{1.93}$
Unare-Clarines	250	22.450	300	0,75	700	1.860	2.200	100	15	$Q_s = 32 \text{ Q}^{1.27}$
Guaribe-La Danta	600	1.605	120	3,60	190	100	450	285	70	
Las Raíces-Las Raíces	950	250	40	3,00	80	15	30	120		$Q_s = 90 \text{ Q}^{1.40}$

GRAFICO Nº 20

CURVAS DE SEDIMENTACION
 RIO DEL BORDE NOR-OCCIDENTAL
 CUENCA DEL UNARE

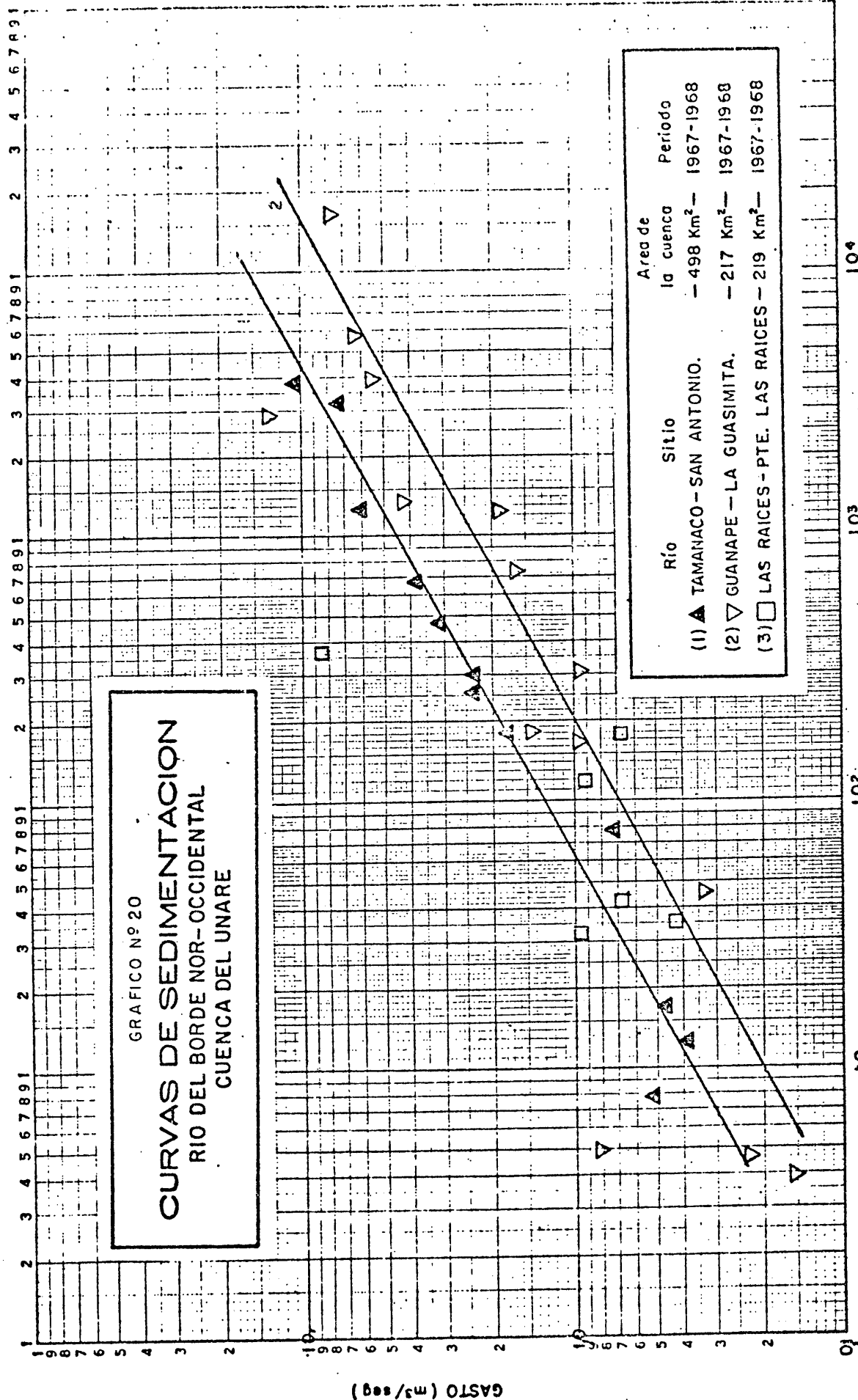
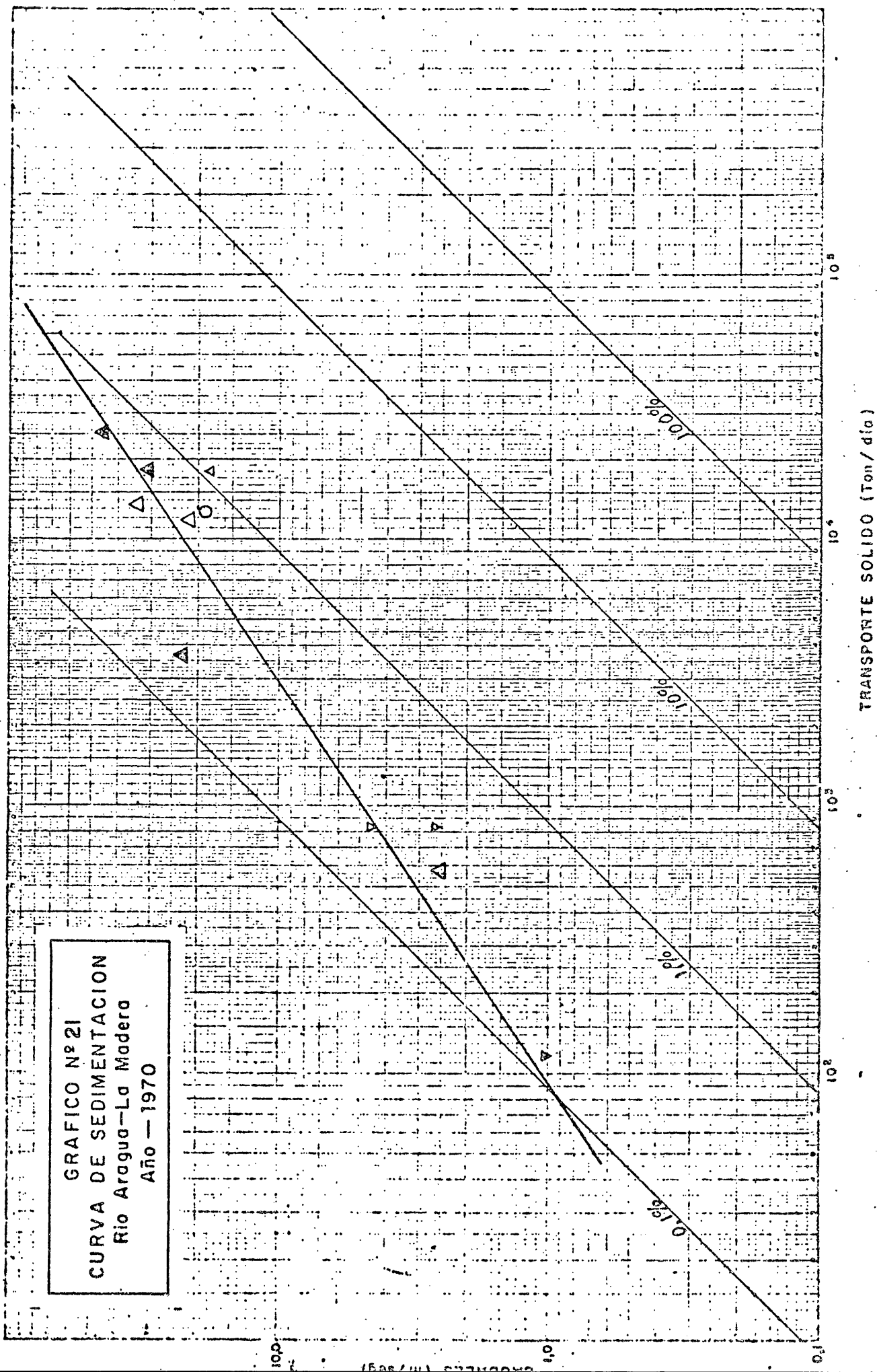


GRAFICO Nº 21
 CURVA DE SEDIMENTACION
 Rio Aragua-La Madera
 Año — 1970



La Tabla No. 6 muestra diferencias y analogías en algunos de los factores para la subcuenca considerada, destacándose las variaciones en el escurrimiento y transporte sólido. Si se admite la influencia futura más marcada que sobre el régimen hidrológico han de desempeñar los numerosos embalses en construcción, es de esperarse que cambios significativos en dichas magnitudes se produzcan, especialmente en Clarines, la más baja estación fluviométrica de la cuenca.

4.8 CORRELACION ACARREOS-ESCURRIMIENTOS. DATOS DE SUBCUENCAS

Con el propósito de definir las relaciones entre los acarreos y escurrimientos anuales en la estación San Antonio de Tamanaco, se han representado los valores anuales en el Gráfico No. 22. De ellos, el 1964-1965 muestra más bajos transportes y los años 1969-1970 señalan magnitudes superiores a las correspondientes a la recta definida por los años restantes del período. La ocurrencia de años con valores anormales de acarreos, es común en estas zonas, como resultado de la forma y distribución de la pluviosidad y de las diferencias en la geología y naturaleza de los suelos. La excedencia de los valores máximos de acarreos no es mayor al doble de los promedios para el intervalo de 10 años, manteniéndose similar proporción para los volúmenes de escurrimiento.

A objeto de definir las diferencias de productividad de sedimentos entre las dos cuencas adyacentes, Tamanaco y Las Raíces, se muestra el Gráfico No. 22 para el período común de registros 1965-1968, encontrándose que los aportes sólidos totales de la primera exceden en cerca de 10 veces los suministros de la segunda. Debe destacarse que durante el lapso considerado, el aporte de sedimentos en el río Tamanaco fué relativamente bajo, tal como lo ilustra el diagrama de barras de acarreos, (Gráfico No. 14).

Considerando las productividades unitarias de sedimentos (Ton/Km^2), se encuentra que la cuenca de Tamanaco en San Antonio, con un área superior en más de dos veces la de la subcuenca Las Raíces, excede en tres veces el rendimiento sólido de éste durante el período considerado. Debe señalarse que aun siendo corto el período de comparación (12 años) y muy variable el transporte, debido al efecto de crecientes, los resultados obtenidos han de considerarse como específicos de este lapso y no extrapolables a intervalos mayores de tiempo.

GRAFICO Nº 22
RELACIONES ESCORRENTIA - TRANSPORTE
RIO TAMANACO Y QDA LAS RAICES

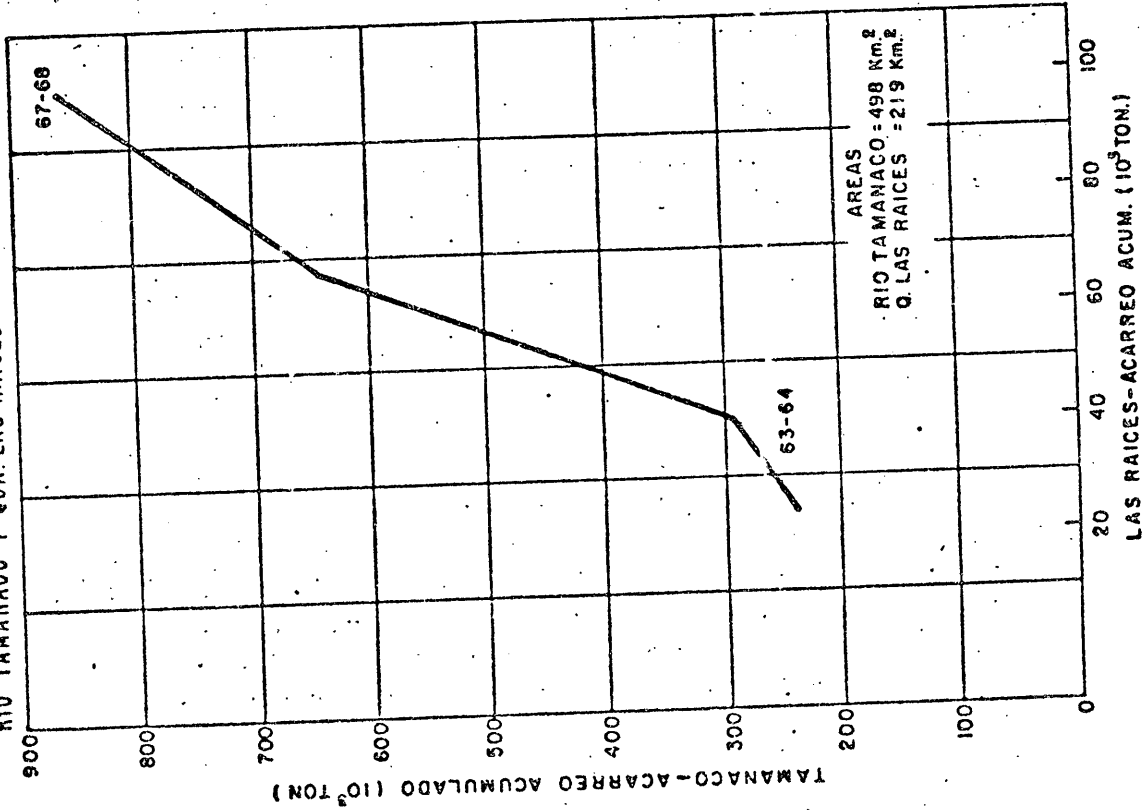
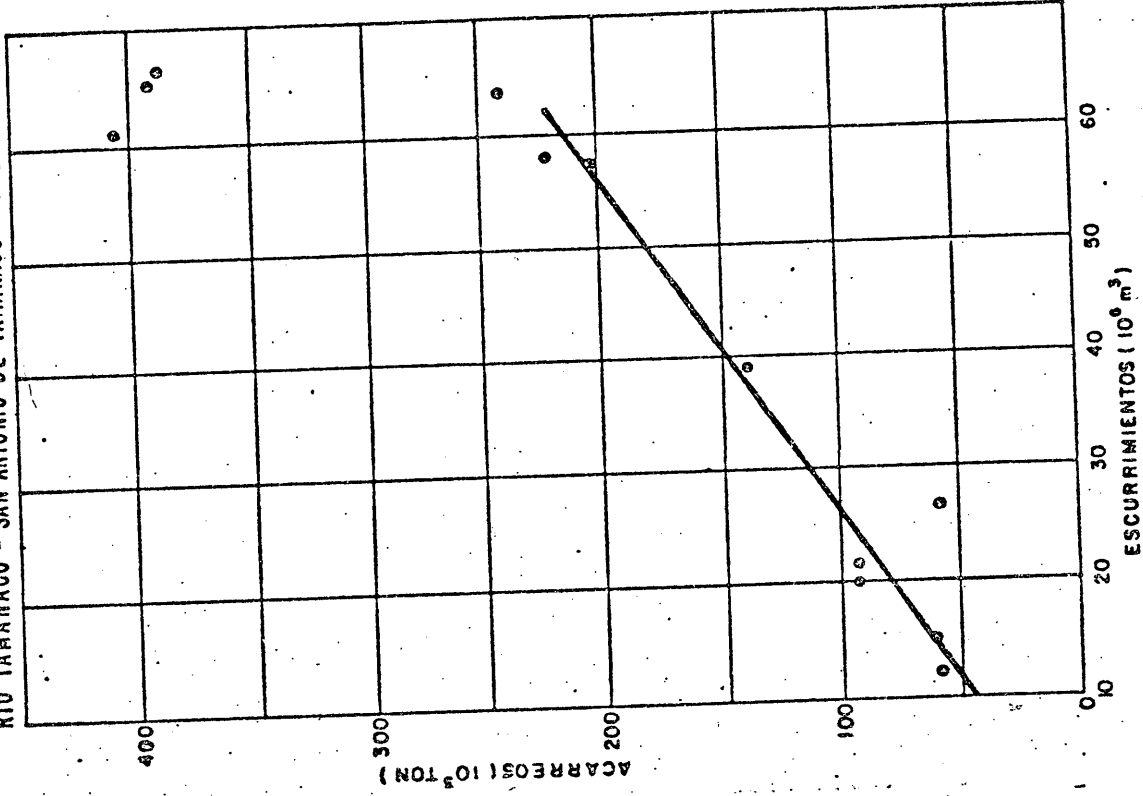


GRAFICO Nº 23
RIO TAMANACO - SAN ANTONIO DE TAMANACO - AREA: 498 Km²



Según los datos de la Tabla No. 6, la región Sur y Sur-oriental de la cuenca de Unare es la que exhibe los mayores aportes sólidos, como resultado del carácter más erosionable de los suelos y los rendimientos de escorrentía, mientras que en suelos de pendientes más elevadas, como el caso de los ríos Guanape y Tamanaco, la resistencia litológica es el factor dominante.

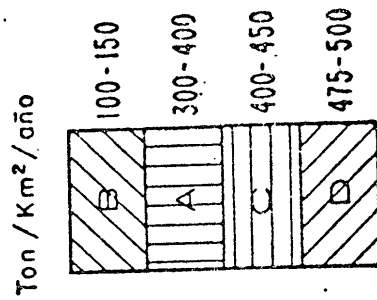
4.9 INDICES REGIONALES DE PRODUCCION DE SEDIMENTOS

En base a la información obtenida en las diferentes estaciones fluviométricas sobre la producción de sedimentos, se ha preparado el esquema de rendimientos sólidos mostrado en el Mapa No. 15. El sector A posee además de pendientes más elevadas, un carácter más erosionable de las formaciones sedimentarias, aunque localmente se presentan rocas duras, -areniscas especialmente-, alternando con materiales finos. En el sector B los suelos son cohesivos y sometidos a un más intensivo laboreo agrícola. En contraposición, lo poco pronunciado de las pendientes y lo reducido de las precipitaciones, contribuyen a escasos aportes sólidos. Paisajes erosionales a alto grado, pueden ser observados localmente en esta región (Norte de Tucupido, erosión de carácter geológica), siendo de ello responsable la escasa resistencia de los suelos, la poca protección vegetal y la acción intensiva de las precipitaciones y la escorrentía durante el corto período lluvioso. Los sectores C y D muestran muchas analogías en los factores determinantes de la erosión y el transporte, especialmente los de tipo climático. Hacia los bordes y divisorias, los suelos se hacen predominantemente arenosos con costras y conglomerados ferríferos superficiales, siendo intensiva la erosión regresiva que ha modelado paisajes de tipo "badland", en las estructuras de mesas con cuevas abruptas. En los sectores inferiores, incluidas áreas bajas del Unare, la presencia de sales sulfatadas y conjuntos ferroso-férricos asociados al suelo, influyen sobre su estabilidad estructural al ser influenciados por la escorrentía.

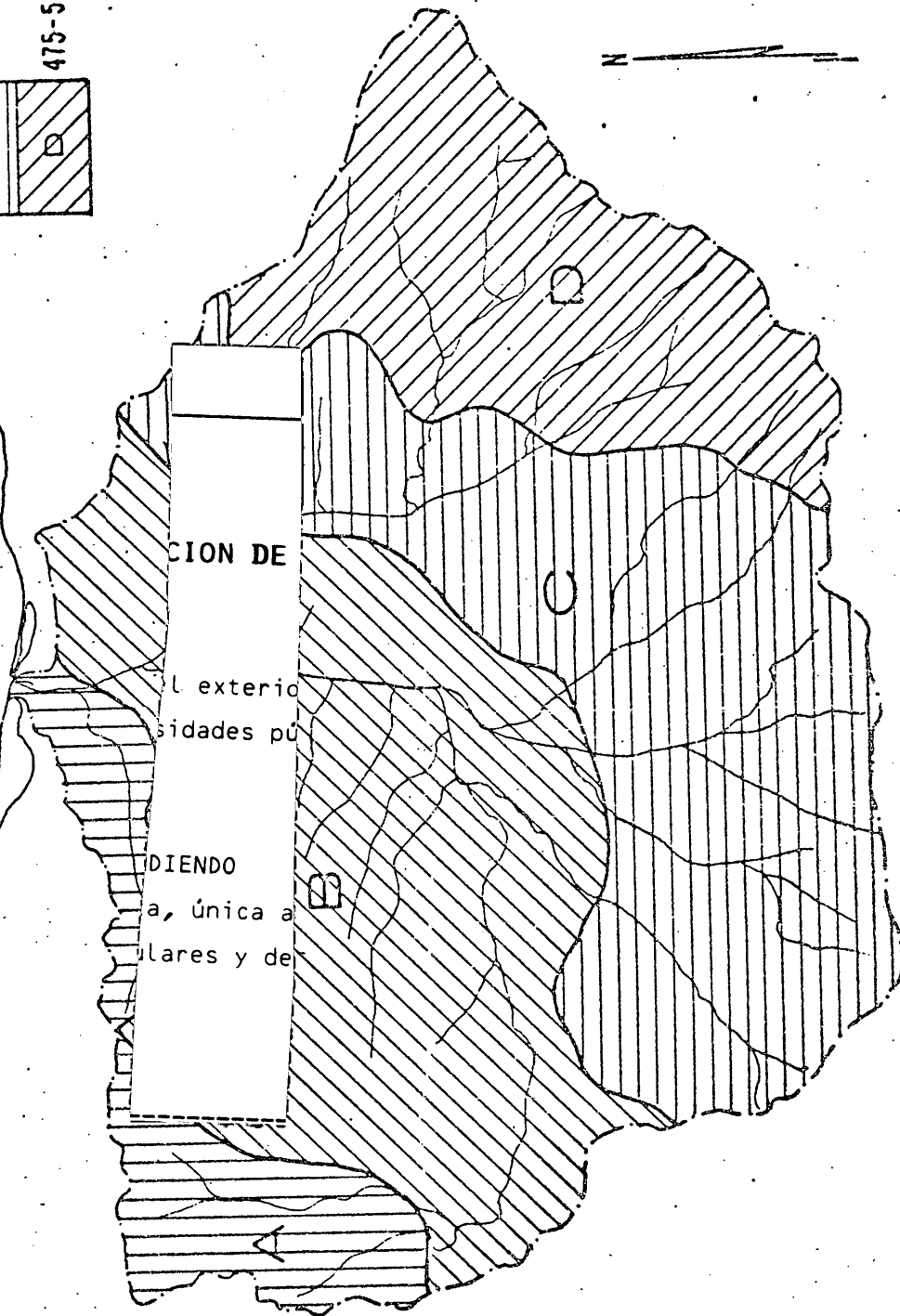
Debe destacarse que debido a la presencia de los embalses, estos módulos de producción de sedimentos deben cambiar como resultado de la regulación de la escorrentía, siendo a través de los canales donde se manifiestan más marcadamente los efectos sobre la erosión. Ello hace sugerir que se practiquen levantamientos de perfiles longitudinales aguas abajo de los diques al comenzarse a operar los embalses, a objeto de diagnosticar efectos de degradación o agradación de los lechos, en caso de que ellos ocurran.

MAPA Nº 15

RENDIMIENTO (POTENCIAL) DE SEDIMENTOS CUENCA DE UNARE



Mar Caribe



Las franjas de las planicies fluviales bien protegidas por la vegetación natural, poseen bajos módulos de producción de sedimentos regulando el suministro de los tributarios a los cauces más bajos, siendo éste otro aspecto que confiere importancia a la vegetación como factor regulador de los efectos mencionados.

Otro aspecto que puede alterar la futura productividad de sólidos en la cuenca, es la incorporación de nuevas tierras de cultivo al exponerse los suelos a la acción directa de las lluvias y la escorrentía superficial; de aquí que tanto la acción de barreras protectoras como terrazas y otras estructuras de control, cobran importancia.

5. SISTEMA DE EMBALSES

5.1 EMBALSES EN LOS CANALES PRINCIPALES VS EMBALSES EN LOS TRAMOS SUPERIORES

Dado que numerosas presas en la cuenca del Unare serán construidas en diversos sectores y tramos de los cauces, se hace necesario discutir sobre algunas ventajas y desventajas de su localización, especialmente en lo que a la conservación de las aguas y suelos se refiere. Entre las primeras es obvio destacar los siguientes aspectos para la alternativa de embalses en las cuencas superiores:

- a. Estas presas son más económicas de construir debido a la configuración de los vasos de los sectores altos de las cuencas, permitiendo una mayor capacidad de almacenamiento con un menor volumen requerido de material para los diques. Esto hace que un mayor número de corrientes superficiales sean reguladas con la disponibilidad de capitales que deberían, de otra forma, asignarse a los grandes proyectos en los tramos inferiores.
- b. Estas presas por su tamaño pueden ser ejecutadas en un tiempo más breve y programarse la ejecución de otras, atendiendo al desarrollo creciente de las zonas, de acuerdo a las prioridades futuras en el uso del agua.
- c. Desde el punto de vista de la conservación de los suelos, las presas en las cuencas altas ejercerán una influencia decisiva y mayor, obteniéndose resultados beneficiosos a corto plazo, ante los obtenidos con grandes embalses situados en los niveles inferiores. Los suelos con mejor calidad edáfica de la cuenca del Unare, bordean

los canales y abarcan extensiones muy definidas, pero reducidas, de las planicies fluviales. Así, su laboreo y aprovechamiento planificado debe hacerse utilizando racionalmente sus recursos, sin activar mecanismos que puedan causar desequilibrio en el sistema fluvial. Este aspecto, tanto a corto como a largo plazo, será el de mayor impacto para el desarrollo y aprovechamiento de los suelos en la cuenca del Unare.

- d. Las presas permiten un control más efectivo de la erosión en los canales como consecuencia de la regulación de la escorrentía, con lo cual se reduce el poder erosivo, especialmente durante los períodos de avenidas con altos caudales.
- e. Permiten, también, el desarrollo y laboreo de las tierras más bajas mediante el uso de técnicas modernas de cultivo (fertilizantes, terraceo, riego controlado, etc.), sin que existan riesgos eventuales de contaminación de los cuerpos de agua que pudieran estar situados aguas abajo.
- f. Por su ubicación, el contribuir a aumentar los gradientes del flujo subterráneo, son áreas potenciales de recarga a los aluviones y acuíferos de los valles, especialmente a través de los propios canales. De esta forma se preserva el almacenamiento del agua subterránea, mejorándose las condiciones edáficas en las planicies al incrementarse la humedad de los suelos, con la posibilidad de ser ésta reutilizada en áreas particulares situadas aguas abajo, o con lo cual se mantienen excedentes en el subsuelo, en particular en los aluviones de las planicies fluviales, para cualquier uso futuro de granjas adyacentes a las planicies.
- g. Cualquier obra futura de protección de los cauces, cuerpos de agua y otros que sea necesario acometer, tendrían más altos factores de seguridad y resultarían más económicos de construir.
- h. Son la única alternativa que garantiza el mantenimiento de la escorrentía en un mayor número de canales de la cuenca durante el período seco, lo que influirá en la recuperación y preservación de diversos recursos naturales de la cuenca; aparte de su importancia para ser usada el agua con otros propósitos en las tierras marginales, tales como riego, abastecimiento a poblaciones, control de crecientes, proliferación de la fauna silvestre y otros.

Entre las desventajas de las presas ubicadas en las partes altas de las cuencas, son de citar:

- a. No permitirán el control efectivo de inundaciones en todas las áreas y tributarios al Unare, ya que los tramos regulados son pequeños respecto a las áreas no controladas con los embalses.
- b. Su operación y aprovechamiento conjunto requieren de criterios de manejo más complicados y rigurosos que si se tratara de pocos y grandes embalses.
- c. Poseen más altas eficiencias de atrape de sedimentos debido al carácter geométrico de los vasos de almacenamiento y a que, en general, las producciones unitarias de sedimentos (Ton/Km^2), son mayores en los niveles superiores de las cuencas.
- d. Dependiendo del carácter del sedimento y de los depósitos fluviales aguas abajo, pueden determinar degradación de los lechos o agradación efectiva por el suministro de los tributarios.
- e. Contribuyen a desmejorar la calidad del agua en dirección aguas abajo, particularmente si se practica el riego y el laboreo de la tierra en forma intensiva y no controlada.
- f. En caso de fallar, representan un riesgo eventual para las zonas situadas aguas abajo; aunque esto es común para las grandes presas, excepto que los daños serían de menor magnitud.
- g. La actividad biológica es mayor que en los grandes embalses en los primeros años de vida útil.

En particular en la cuenca del Unare, otros factores antes analizados, pueden ser influyentes en la conservación de estos embalses: alta evaporación, rápido crecimiento de algas, contaminación de las aguas cuando el riego se practique en áreas tributarias, o efectos resultantes de la deforestación y las quemas, etc. Algunos de estos aspectos serán considerados en mayor detalle posteriormente.

5.2 ACTIVIDAD BIOLOGICA. FACTORES REGULADORES

La poca profundidad de los embalses y la acción persistente de la luz solar en el llano, contribuyen al desarrollo activo de algas que invaden los reservorios tornándose en una causa reductora de la vida útil de los mismos y en el desmejoramiento de la calidad del agua, al producirse su decaimiento y descomposición orgánica. Esta situación es problemática en aquellos donde, por su mayor capacidad en relación al escurrimiento anual, no se experimenta recirculación periódica de los volúmenes almacenados, de la misma manera que en aquellos ríos donde considerables volúmenes de agua se almacenan en zonas de estancamiento de los cauces y permanecen durante la época seca bajo condiciones muy propicias para la proliferación del fitoplankton y al ocurrir las avenidas son llevados hasta los reservorios. Tal situación es significativa para la conservación de los embalses dentro de la región.

La preservación de los bosques y vegetación de las márgenes de los cauces, son hechos necesarios para reducir el aporte de sedimentos y favorecer el mantenimiento del rendimiento líquido de los ríos.

Son poco conocidos los efectos que las cenizas resultantes de quemas y restos calcinados de suelos, puedan ejercer sobre la calidad del agua y la vida acuática una vez acumulados en los embalses, siendo obvio que tratar de reducir la deposición de tales contaminantes debe ser una medida eficiente; particularmente mediante el control y cambio de las técnicas de cultivo en las áreas contribuyentes.

Deben preverse las limitaciones y controles en el uso de fertilizantes, detergentes y pesticidas dentro de las áreas que encierran sistemas múltiples de embalses; particularmente en aquellas áreas dentro de cuyos propósitos fundamentales de uso está el de suministro para consumo, ya que la movilidad de estos constituyentes a través del escurrimiento superficial, se hace significativo en áreas de suelos finos con bajas permeabilidades verticales. Particularmente el fósforo (P) y nitrógeno (N), son elementos que influyen en la proliferación de la vida acuática, en especial de las algas. Si tales nutrientes se suministran o son llevados hasta los embalses, se crean condiciones más adecuadas para el desarrollo y crecimiento de las algas, acondicionándose las propiedades de un habitat que de por sí ofrece como ha sido descrito anteriormente, adecuadas características ambientales y climáticas. La mayoría de los fertilizantes y pesticidas, por tratarse de compuestos que contienen fósforo y nitrógeno, representan y han mostrado ser,

un serio inconveniente para preservar a los embalses del problema creado por las algas, cuando se han usado (especialmente los fosfatos), sin control.

Los insecticidas a base de hidrocarburos clorinados son los que representan un serio problema por su mayor solubilidad en las aguas y su larga actividad residual; particularmente los conocidos comercialmente como Dieldrin, DDT, Toxaphene, Aldrin, TDE, Endrin, Guthion, etc., que han demostrado tener efectos letales y persistentes sobre la microflora del suelo y la vida acuática. Algunos de éstos son usados ampliamente por los ganaderos de la región sin tomarse las precauciones para que los animales, después de fumigados, no tengan acceso a los cuerpos superficiales de agua (embalses, lagunas), lo que se traduce en un suministro directo de tales contaminantes a estos reservorios de agua, que son, además, aprovechados para consumo humano, a veces sin ningún tratamiento.

Algunos embalses con varios años de operación como el de Agua Clara en la zona costera de Anzoátegui, han desarrollado enormes cantidades de hidrófitas flotantes (lirio de agua), que experimentan activo traslado dentro del embalse como resultado de la acción de los vientos. Estas plantas, además de poseer una alta rata evapotranspirativa, producen al descomponerse en el fondo de los embalses, olores desagradables y desmejoran la calidad del agua, haciendo costoso su tratamiento y dificultando la operación de las tomas. Estas plantas, en adición a las algas, son uno de los más serios problemas para los embalses de la cuenca, encontrándose que los períodos críticos de desarrollo y máxima concentración de esta biomasa vegetal, es de 10-15 años cuando los embalses, especialmente con reducida recirculación de sus almacenamientos, terminan desarrollando alta eutroficación.

Estos aspectos, en adición a los que se han manifestado con resultados negativos en los embalses ejecutados con anterioridad, deben ser solventados y tomados en cuenta para el diseño y manejo de futuras obras de este tipo en la región.

5.3 EMBALSES EN LA SUBCUENCA DE TAMANACO

El río Tamanaco es uno de los cauces de la cuenca de Unare donde un sistema múltiple de embalses, algunos ya existentes y otros en proyecto, están contemplados para su futura ejecución, (véase Croquis No. 8). La presencia de embalses en un sistema fluvial causa cambios significativos en el régimen de escorrentía y transporte sólido, tanto aguas abajo como aguas arriba de los sitios de embalse. Aparte del problema de contaminación con plagicidas y fertilizantes detectados por el INOS (1975), no han aparecido hasta la fecha (1979), otros efectos detrimentales, particularmente aguas abajo del embalse Playa de Piedra, que limiten el emplazamiento de otras presas en serie. Sin embargo, debido al hecho de que en esta región la variabilidad de la precipitación y la escorrentía es muy notable, el mayor cuidado debe ejercerse al manejar el almacenaje en los embalses situados en la cuenca alta, mientras que períodos de sequía de varios años pueden afectar las reservas de los situados aguas abajo de una manera diferente a los de aquellas zonas altas con rendimientos más prolíficos de escorrentía.

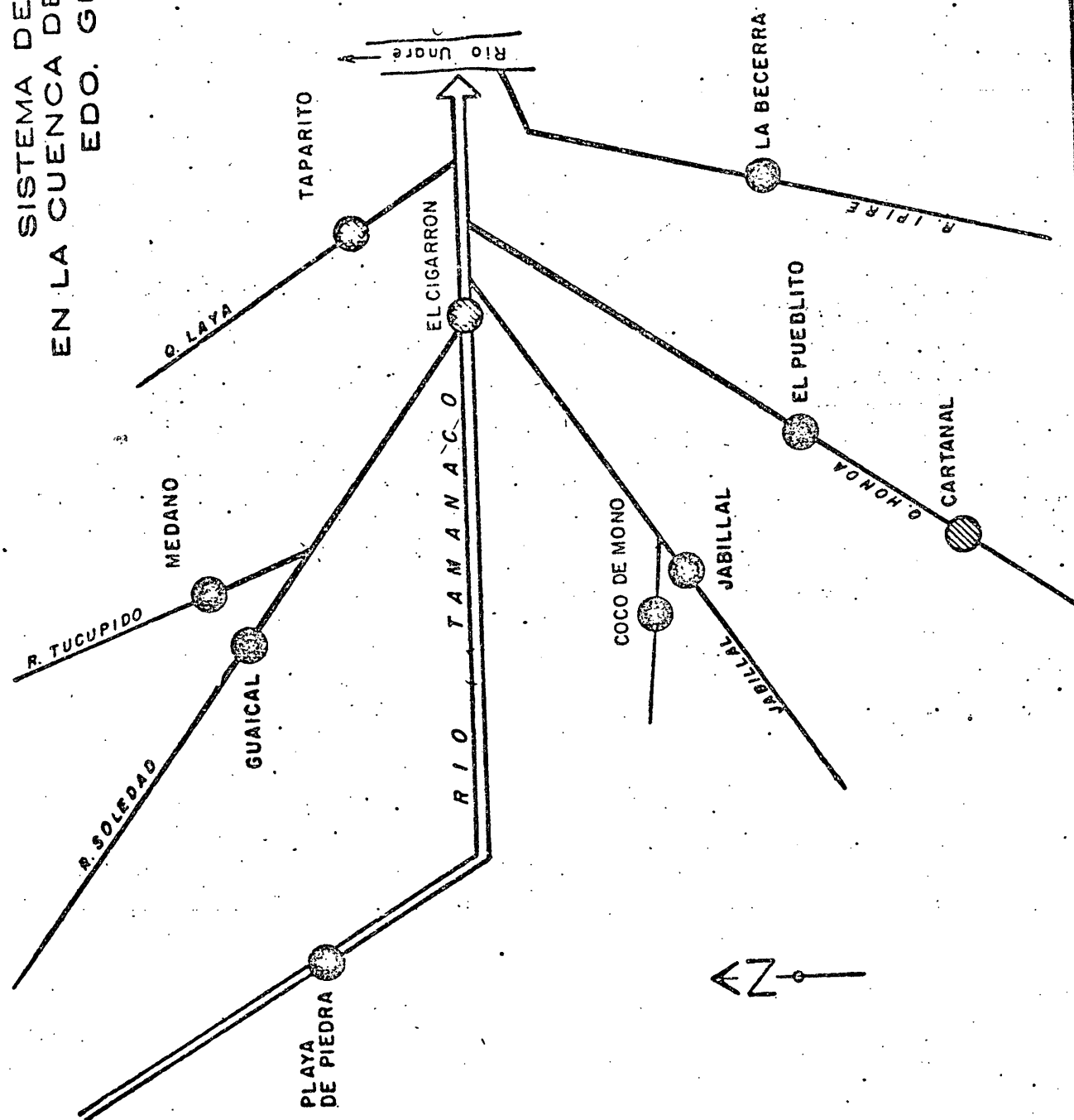
La posibilidad de que el cauce del Tamanaco haya formado parte del sistema fluvial de Manapire, hace que problemas tales como degradación intensiva en el canal o erosión acentuada en las cuencas tributarias, no sean previsibles al menos en magnitudes limitantes para la factibilidad de estos proyectos. Entre otras causas la alta cohesividad de los materiales en la zona de captura y los bajos declives de los suelos, han determinado cambios leves y graduales no resaltantes dentro del sistema fluvial, lo cual indica, además, el tiempo relativamente reciente de inicio de este proceso, que por estar desarrollándose en materiales sedimentarios jóvenes, dentro de un área con una actividad orogénica no intensa, cobra mayor interés desde el punto de vista geomórfico. También es importante este criterio para estimar rendimientos sólidos y líquidos de la cuenca, suponiendo una influencia menor del embalse sobre las áreas situadas aguas abajo.

5.4 EMBALSE PLAYA DE PIEDRA. USO Y PRESERVACION DE OTROS.

El embalse Playa de Piedra situado en la cuenca media del río Tamanaco, tiene una capacidad de 140 mill de m³ y se ejecutó con fines de suministro de agua para consumo y riego hasta de 6.000 Has., con la prioridad reciente asignada al abastecimiento de las poblaciones; la posibilidad de irrigación se ha relegado a un plano secundario.

CROQUIS N° 8

SISTEMA DE EMBALSES EN LA CUENCA DEL RIO TAMANACO EDO. GUARICO



Describir algunos caracteres del embalse Playa de Piedra y los cambios que su ejecución determinó sobre las áreas de inundación, se considera de interés para prever efectos o alteraciones similares en futuros proyectos dentro de la zona. Primeramente, es necesario analizar el hecho de que el vaso de este embalse no fué originalmente de forestado. Siendo las áreas de inundación de poca profundidad, un porcentaje elevado de ellas se mantienen expuestas en condiciones subacuáticas, por lo que la marchitez y ulterior descomposición de la materia vegetal, es causa del deterioro de la calidad del agua y favorece la rápida eutroficación del embalse a velocidades mayores que en un estado en el cual tal condición no existiese.

Los procesos de descomposición son activos en las áreas deltaicas, debido a la exposición a la atmósfera de los sedimentos y su interacción con la materia orgánica, siendo sometidos estos materiales a continuos períodos de inmersión y desecación verificándose la ocurrencia en el delta de emanaciones gaseosas, lo cual favorece cambios en la calidad del agua, interfiriendo con el normal desarrollo de la vida acuática. Como resultado de lo anterior, en un futuro pueden resultar onerosos los gastos de tratamiento, especialmente debidos a la dosificación de cloro.

Dentro de la cuenca de Tamanaco, la importancia del embalse Playa de Piedra cobra significativa importancia por su relación operacional con el de El Cigarrón, ambos de influencia dentro de una región con un marcado déficit hídrico, sujeta a críticas épocas de sequías y en razón de sus propósitos adicionales de uso, como son los de suministro y riego.

Entre otros aspectos, es de destacar el aceptable desarrollo de peces sembrados en este embalse en los últimos años, así como la proliferación natural del chiguire en sus áreas inundadas, lo cual sugiere la posibilidad de aprovechar esta especie en adición a otras, al mostrar especial adaptación en embalses con abundante vegetación dentro del reservorio.

5.5 EMBALSE JABILLAL

Este embalse es el que suministra agua para el consumo de la población de Tucupido, fué construido en 1953 al represarse las aguas de las quebradas Jabillal y Morrocoy y otras menores contribuyentes, las cuales convergen a las áreas circundante al vaso del embalse. Su capacidad original al nivel de aguas normales (116,0 m/n.m.m.), era

de 9 mill de m^3 , con un área inundada de 400 Has.

El Gráfico No.24 muestra a escala logarítmica la relación alturas -H-, capacidades (S -mill de m^3) de este embalse, obteniéndose una relación de la forma:

$$H = 0,092 S^{0,15} \dots\dots\dots (17)$$

donde $m = 1/n \cong 4,0$ define a un embalse Tipo I (según criterio de Vant 'Hut).

El embalse se ubica en una región con relieve ondulado, característico de otras zonas de la cuenca. Sus áreas aportadoras de esorrentía han sido intensamente deforestadas en los últimos años y a la par con el crecimiento poblacional y la demanda de agua, el deterioro de la calidad del agua en el embalse se ha venido produciendo, haciéndose difícil y costoso mantener las condiciones de suministro y potabilidad durante los ciclos largos de sequía. Ultimamente se construyó una planta de tratamiento de agua.

Estos largos períodos de sequía, con la subsiguiente reducción de la capacidad de almacenamiento y la elevada concentración de algas en el reservorio, han obligado a su tratamiento periódico con sulfato cúprico ($CuSO_4$). Condiciones de alta desecación del embalse fueron verificadas en Marzo de 1976 después de los últimos cuatro años caracterizados por ser muy secos (1972-1974), lo cual evidentemente ha hecho más crítico el problema, el reducirse las profundidades del embalse y mejorarse las condiciones para la actividad fotosintética.

El área inundada es carente de vegetación, estando presente arbustos e hierbas en las áreas desecadas circundantes al embalse, especialmente en las partes del delta que abarca a una planicie de suave declive, en la cual los viejos cauces de las quebradas se han preservado con aguas estancadas y sólo parcialmente llenos de sedimentos. Los sedimentos en las zonas deltáicas son de carácter fino, de color gris oscuro, altamente orgánicos y saturados. Estos materiales, al exponerse a la atmósfera, desarrollan grietas de desecación y su grado de humedad en profundidad es tal que asentamientos de los depósitos en los antiguos lechos pueden observarse al descender los niveles. Tal mecanismo puede favorecer la conservación de estos canales cuya erosión es periódicamente reactivada al producirse las primeras crecientes, con lo cual, tanto el sedimento afluente como aquel previamente acumulado, puede ser retransportado hasta zonas más profundas del reservorio.

El sedimento, particularmente el fino, actúa dentro de estos embalses en diversas direcciones relacionadas con el desarrollo del plankton. De una parte, el aumento de turbidez creado por la suspensión de partículas limo-arcillosas y coloidales durante los flujos de avenidas, reducen la efectividad de la luz solar, con lo cual el crecimiento de la flora se inhibe. De otra, la deposición del sedimento en el fondo del vaso disminuye las profundidades; así pueden inducirse cambios en el gradiente térmico vertical del agua, variaciones en su densidad y régimen de corrientes con una mejor aireación dentro del embalse, que favorecerían el desarrollo de la flora. Además, la reducción de la capacidad útil en las partes inferiores del vaso, determina con el tiempo que un más alto porcentaje de almacenamiento se desplace y permanezca en los niveles superiores, con lo cual se incrementan las áreas inundadas conforme progresa el tiempo de operación de los embalses, favoreciéndose la evaporación y el mejor desarrollo de la flora acuática. En embalses con un vaso de relativamente poca profundidad original, como es el de Jabillal, con una reducción en sólo una fracción de su capacidad, pero con un efecto del sedimento como el señalado; la eutroficación del mismo se puede acelerar activamente en cortos períodos de tiempo. Esta situación se ha confirmado en los últimos estados de desarrollo de muchos embalses de la región.

Finalmente, dependiendo del carácter químico y mineralógico de los sedimentos o materiales asociados (materia orgánica, TDS, compuestos químicos complejos tales como fertilizantes, pesticidas, cenizas, etc.), y su relación con la composición de las aguas, se determinarían formas especializadas o particulares de la flora acuática, tanto en su densidad como en abundancia de especies.

Los suelos en estado natural que bordean a esta zona, son pardos a gris-amarillentos con abundancia de la fracción fina arcillosa. Durante la crítica sequía de 1976 en el embalse Jabillal, grandes extensiones del vaso, normalmente inundados, permanecieron expuestos a la atmósfera y se observó un aspecto gris oscuro de los sedimentos, que por su olor fétido sugerían un alto contenido de materia orgánica en descomposición.

No es aparente y fácil diferenciar a estos depósitos por su edad relativa de acuerdo a las tonalidades y coloraciones, aparte de que no existe estratificación o laminación en los depósitos que señalen una periodicidad en su deposición. No se cree que el uso de sales sulfatadas con las cuales se trata periódicamente el agua en el embalse, ejerza una mayor influencia sobre el color observado del sedimento, particu-

lamente en las áreas deltaicas, donde es menor la dispersión de dichas sales y es mayor la deposición de sólidos suspendidos.

Durante los últimos años se ha intensificado la deforestación y las quemas de las áreas contribuyentes al embalse, lo que ha podido acelerar el suministro de cenizas, producto de la combustión vegetal y suelos calcinados. Esto se ha traducido en un cambio de la coloración del sedimento, como un hecho adicional negativo para el mantenimiento de la calidad de las aguas. Muchos de los caracteres observados en este embalse, se pueden presentar en otros de la cuenca si, una vez ejecutados, no se adoptan medidas correctivas que permitan su adecuada preservación.

Una inspección al embalse a finales de Septiembre de 1976, cuando se recuperó el almacenamiento después de un corto período muy lluvioso en la zona, mostró un notable mejoramiento de la calidad del agua, estimándose que un alto porcentaje de las algas fueron eliminadas y asentadas en el fondo del embalse al exponerse directamente a la atmósfera y desecarse las áreas inundadas marginales del vaso. Este procedimiento, si bien no soluciona completamente el problema dado que la recuperación del plankton es activa, puede servir como una alternativa para tratar y operar a otros embalses donde este caso se presente, particularmente en aquellos de reducida capacidad de almacenamiento, que podrían ser desecados en los períodos finales del lapso de sequía, de forma que pueda recuperarse el almacenaje durante el lapso lluvioso.

El embalse Jabillal no había experimentado hasta ahora condiciones tan críticas en este aspecto, por lo tanto, un control y muestreo subsiguiente de cómo habrá de evolucionar la flora acuática y la calidad del agua, se hace útil y necesario de realizar después de tales períodos.

En períodos subsiguientes, se ha venido verificando un grado aceptable de la calidad del agua en el embalse, aunque se observan frecuentes y periódicas quemas en las áreas contribuyentes, lo cual puede incidir en forma perniciosa para mantener y mejorar las condiciones del agua en el reservorio.

5.6 DEFORESTACION DE LOS VASOS

En muchos embalses de la cuenca se ha dejado la vegetación natural sin remover, con lo cual, si bien se reducen los costos durante la fase inicial de construcción, también es cierto que aquellos que puedan ser posteriormente usados con fines de aprovechamiento para consumo y suministro de poblaciones, los problemas de tratamiento de agua se harán presentes pocos años después de iniciada su operación.

La vegetación tiene una gran influencia para atrapar el sedimento efluente en las áreas deltaicas, pero a su vez, la rápida biodegradación en estos medios y dentro de las zonas inundadas y su asociación con el sedimento, particularmente el fino, hará más daño a los embalses que la misma reducción de su capacidad con el tiempo por deposición del depósito sólido.

La materia vegetal, de otra parte, representa una fuente de nutrientes para diversas especies acuáticas que encontrarían desde el principio adecuados ambientes para su desarrollo y proliferación; por consiguiente, un eficaz control de la misma se hace necesario antes de inundar los vasos de almacenamiento.

Cuando los embalses presentan capacidades superiores al escurrimiento anual, el problema creado por la materia orgánica se hace más serio respecto a los pequeños embalses, en los cuales existe un periódico refluo del almacenaje, con lo cual un alto porcentaje de la misma puede ser evacuada a través de conductos, aliviaderos o sifones.

Densos bosques de la planicie fluvial a ser inundada deben ser removidos y explotados económicamente, con lo cual se obtendría un beneficio que puede compensar los gastos de deforestación y acondicionamiento de las áreas a ser inundadas.

Una amplia franja de vegetación dejada sobre los niveles de aguas normales, representaría en estos embalses un factor de control y de reducción de la evaporación (regulador del viento, control térmico), del suministro directo de sedimentos desde áreas adyacentes, un elemento favorable al desarrollo de la fauna silvestre y del uso de estos medios como ambientes de recreación.

5.7 PERDIDAS DE AGUA EN LOS EMBALSES

La mayoría de los embalses en la zona presentan, por las condiciones fisiográficas de los vasos, altas relaciones áreas inundadas/capacidades (A/C); ésto además de los adversos factores climáticos (vientos, temperatura, ausencia de barreras orográficas, hidrófitas), favorece la ocurrencia de altas ratas de evaporación y transpiración*. La protección del talud aguas arriba de los diques, con enrocado y el uso de asfalto como material cementante, contribuye a que las ratas de evaporación sean más elevadas debido a que se inducen altos gradientes térmicos entre la superficie libre del agua y el aire suprayacente a la superficie asfáltica. Esta condición fué observada en la presa de La Becerra sobre el río Ipire, midiéndose temperaturas superficiales en el asfalto de hasta 60°C (2:00 pm), siendo el eje de máxima extensión longitudinal (fetch) en que actúa el viento, oblicuo en relación a la mayor extensión del embalse. Un gran volumen de agua puede evaporarse por acción de este efecto. El desarrollo de hidrófitas flotantes y otras especies con elevadas capacidades de evapotranspiración, se han observado en los embalses existentes en la parte Norte de la cuenca y en aquellos de muy pequeña capacidad y bajas profundidades, así como en los bordes de lagunas artificiales y de algunas planicies de inundación natural, situadas al margen de caños y antiguos cauces.

La práctica usual de realizar el laboreo de las tierras circundantes a estos embalses, así como permitir el pastoreo (ganado caballar y vacuno), debe ser tomada muy en cuenta por las oficinas de operación y mantenimiento de los mismos. Esto en varios de los embalses reconocidos, representa un serio problema desde el punto de vista del deterioro y mantenimiento de la calidad del agua, el cual puede agravarse con el tiempo. Con frecuencia los animales son atrapados por el sedimento al descender los niveles del agua. Del mismo modo se produce un suministro de contaminantes en forma directa como resultado del laboreo agrícola; ésto lleva al adicional deterioro de los suelos adyacentes y a la creación de fuentes de suministro de contaminantes que pueden hacer problemático el uso del agua con fines de consumo.

Las pérdidas por infiltración en estos embalses son reducidas debido a las bajas permeabilidades de los suelos y podría esperarse que ellas se reduzcan con el tiempo, debido a la presencia del sedimento fino como impermeabilizador de las áreas inundadas y principalmente en los lechos de los cauces sumergidos. En muy pocos embalses se detectan fugas importantes por filtración a través del dique o del suelo de

* Ratas de evaporación en grandes embalses, como el del Guárico, se han estimado en 0,5 lts/seg/Ha.

fundación de los mismos. Una pequeña filtración con saturación de los suelos se observó en la presa de Jabilla hacia su estribo derecho, cuando aumentó notablemente el nivel del embalse, (Octubre 1976).

5.8 LAGUNAS: ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO

En los últimos años se ha procedido a ejecutar en la cuenca del Unare un amplio programa de construcción de un gran número de lagunas superficiales, con el propósito de reducir los daños causados por las sequías periódicas. Esta zona posee la más alta densidad de embalses de este tipo en áreas continentales, (Guárico central, datos de la UNESCO), y los mismos han contribuido a mantener y preservar a la ganadería de los rigores del período seco.

La construcción de embalses pequeños es la alternativa más segura y económica de garantizar el suministro de agua para el desarrollo agropecuario a menor escala dentro de una zona donde por las adversas condiciones geológicas, es limitada la abundancia del recurso en el subsuelo. Existen riesgos de interceptarse ambientes salinos durante las perforaciones, lo que traería negativas consecuencias para los suelos más superficiales si se usan estas aguas para riego o en el caso más crítico, no se justifican económicamente las perforaciones al resultar muy bajos los rendimientos de los pozos en relación a las inversiones en obras y costos de desarrollo; de forma que siendo las precipitaciones relativamente altas, es recomendable e hidrológicamente más razonable, el aprovechamiento de los pequeños cursos fluviales en contraposición al desarrollo con pozos.

Obviamente, esto no descarta la posibilidad de aprovecharse en áreas particulares, la realización de perforaciones poco profundas y de menor diámetro para instalar molinos de viento que garanticen el suministro para consumo doméstico y de animales (granjas y haciendas). Lo anterior sería factible después de detectar adecuados medios de almacenamiento en el subsuelo, mediante pruebas de geofísica o utilizar, cuando existan, los pozos profundos de la industria petrolera para acondicionarlos y usar el agua con diversos propósitos.

Los embalses pequeños están supuestos a experimentar los mismos riesgos limitantes para su preservación, que los mayores; éste es, la sedimentación progresiva y el desarrollo de algas*, éste último en una mayor magnitud. Algunos pequeños embalses observados en la sub-

* Algas microscópicas de la familia Clorofíceas son las de más alta ocurrencia en los pequeños embalses.

cuenca de Qda. Honda, muestran con menos de 5 años de duración, la reducida capacidad de almacenamiento y el alto suministro de contaminantes orgánicos, fueron verificados.

No existe un criterio definido para diferenciar los embalses de las lagunas en zonas de relieve típicamente ondulado. Se estima que un dimensionado para un embalse en el cual el producto de su capacidad (Has), por la profundidad máxima (m), exceda a 150 Has/m, precisa de un análisis hidrológico riguroso. Lo anterior se ha destacado para definir algunos criterios y recomendaciones de diseño, que deben ser tomados en cuenta para mejorar los procedimientos de construcción de estas lagunas y preservarlas mediante el uso de eficientes formas de manejo y operación.

Ello resulta obvio por el interés e importancia que han de desempeñar en el futuro estas obras, no solamente como fuentes de abastecimiento local para las granjas y hatos ganaderos, sino que por su número y distribución dentro del propio sistema de embalses de la cuenca, contribuirán a regular el escurrimiento superficial ya que la retención y almacenamiento en tales depresiones, conduce a una reducción en la concentración del escurrimiento (reducción en los gastos picos), en los canales principales, con lo cual se minimiza la erosión y el transporte sólido, contribuyéndose a estabilizar áreas de erosión incipiente o a evitarse la degradación en los canales, lo que preservaría más eficientemente a los embalses mayores situados aguas abajo o en cualquier caso, reduciría los costos de las obras de protección que sea necesario ejecutar posteriormente. Beneficios adicionales, no relacionados con el control de la erosión de estos pequeños embalses, son: factibilidad de usar el agua para riego, fomento del desarrollo de la fauna silvestre, protección de áreas contra fuegos, piscicultivos, recreación, facilitar tareas de reforestación, control de la calidad de agua, etc.

La observación del comportamiento de muchos de estos embalses, algunos con largos años de operación, indican que es aconsejable elegir el sitio del dique de tal modo que la orientación del eje longitudinal del vaso, no sea el mismo que la dirección de los vientos predominantes. Del mismo modo, es aconsejable dejar la vegetación natural circundante que actúa como rompevientos, con lo cual las pérdidas por evaporación se reducen notablemente.

Es de destacar, sin embargo, lo aconsejable de seleccionar los tipos adecuados de vegetación. Mientras que algunas plantas cuyo enraizamiento puede penetrar y extenderse considerablemente en

el dique, (cují y jaque, *Prosopis juliflora*, por ejemplo), se marchitan, con el subsiguiente riesgo de que a través de las raíces descompuestas se desarrolle un sifonaje que arriesgue la estabilidad del dique. Otras plantas han mostrado desarrollar grietas por tensión en el suelo, que posteriormente evolucionan hacia auténticas cárcavas, cuando son afectadas por la escorrentía superficial.

Las especies autóctonas de la región especificadas en la Tabla No. 7, además de no crear estos riesgos, representan una buena fuente de alimentos para los animales y pueden plantarse en las áreas más convenientes dentro de las zonas adyacentes a los embalses y diques.

TABLA N° 7

PLANTAS ADECUADAS PARA REFORESTAR ALREDEDORES DE LOS EMBALSES Y LAGUNAS
CUENCA DE UNARE

(1) Nombre común	(2) Nombre científico	(3) Familia	(4) Período de Madurez
Jobo (A)	<i>Hura crepitans</i>	Euphorbiaceae	Agosto-Octubre
Guacimo (D)	<i>Guazima ulmifolia</i>	Sterculiaceae	Febrero-Marzo
Yagüí * (B)	<i>Prosopis juliflora</i>	Leguminosae	Marzo-Abril
Caujaro (B)	<i>Cordia muñeco</i>	Boraginaceae	Abril-Mayo
Guamacho (B)	<i>Pereskia guamacho</i>	Cactiaceae	Agosto-Octubre
Quiebra hacha (B)	<i>Cathormiuni toptum</i>	Leguminosae	Febrero-Marzo
Caruto (B)	<i>Genipa caruto</i>	Rubiaceae	Mayo-Junio
Ceresa (D) - (A)	<i>Phybanthus acidus</i>	Euphorbiaceae	Julio-Agosto
Cotoperiz (A)	<i>Talisia olivaeformis</i>	Sapindaceae	Abril-Mayo
Chiguichique (B)	<i>Bromelia pinguin</i>	Bromeliaceae	
Dividive (B)	<i>Caesalpinia corraña</i>	Leguminosae	Enero-Febrero
Samán (A)	<i>Samanea saman</i>	Leguminosae	Febrero-Marzo
Palma L'anera (D)	<i>Copernicia tectorum</i>	Palmae	Julio-Agosto
Tapaculo (A)	<i>Alohdnea discolor</i>	Euphorbiaceae	Agosto
Tiamo (B)	<i>Acacia glomerosa</i>	Leguminosae	Julio-Agosto
Puneral (D) - (A)			Agosto-Septiembre
Manirito (D)			Agosto-Septiembre
Lagunero (A)	<i>Hecatomastemon guazumaetolius</i>	Flacourtiaceae	Julio-Agosto
Pirritu (D) - (A)			Noviembre-Diciembre
Uvero (A)	<i>Coccoloba latifolia</i>	Polygonaceae	Octubre-Noviembre
Guatacaro (A) - (B)	<i>Beureria cumanaensis</i>		
Coco e mono (A)	<i>Eugenia sp.</i>		
Matacarato (B)	<i>Gliricidia sepium</i>		

Las lagunas deben cercarse con el propósito de evitar el acceso directo de animales; su ubicación debe ser adecuada para evitar que ellas sean áreas receptoras de contaminantes del agua (desechos orgánicos, cenizas, fertilizantes, pesticidas, etc.). La periódica remoción y cambio del almacenamiento de agua, debe preverse mediante aliviaderos y conductos de desagüe. Esto último es muy importante como factor de regulación de la vida acuática, especialmente de la flora.

5.9 CRITERIOS PARA LA OPERACION Y MANEJO DE LOS EMBALSES

La operación del sistema de embalses en la cuenca del Tama-naco y de todo el sistema de Unare, requerirá la adopción de medidas, tanto jurídicas como ingenieriles, tendientes a evitar un deficiente uso del agua, así como efectos detrimentales que interfieran con la conservación y mantenimiento de otros recursos, por ejemplo: degradación de los cauces, erosión de los suelos activada por las prácticas de riego, irracional uso del agua por parte de los usuarios, lo que produciría conflictos de uso, etc.

Los embalses, como ambientes receptores del agua superficial y de los sólidos aportados por los suelos y canales de escorrentía, contribuyen a crear alteraciones en la calidad del agua, en el comportamiento de los flujos de escorrentía, disponibilidad espacial y temporal del agua, evolución morfológica de las redes de drenaje y subsecuentemente, en el transporte y deposición de sedimentos.

Cuando los volúmenes de escorrentía se generan durante el período lluvioso, registrándose intervalos de sequía en lapsos interanuales y periódicamente con intervalos de varios años relativamente secos, el manejo de tales sistemas se hace complejo y difícil de pronosticar. Si a esto se agrega la deficiente información hidrológica e hidráulica existente sobre el régimen en los canales y los embalses, es evidente que sea necesario evaluar y analizar cuidadosamente el comportamiento de los ya existentes a partir de iniciado su funcionamiento, para seleccionar las alternativas óptimas y más eficientes de operación.

Prioridad ha de asignarse al mantenimiento de la capacidad de aquellos embalses usados con fines de suministro a poblaciones, en los cuales, tanto el almacenamiento debe conservarse contra eventuales riesgos de largos períodos de sequía; como para evitar que por causa de reducción excesiva de las profundidades, se produzca un incremento de la flora acuática.

Evidentemente que, en contraposición, al existir mayores áreas de exposición, también la evaporación será más elevada.

Se considera que las consecuencias que podrían resultar de la ejecución de estos embalses en la región sobre la estabilidad de los canales, serían de poca magnitud y tal vez se reflejen después de muy largos períodos de operación.

Flujos "limpios" liberados desde los embalses tenderían a recoger sedimentos en los lechos, en cuyo caso, tanto la persistencia de los caudales como la resistencia de los materiales en los canales, serán los factores relevantes. La acción de los gastos picos de crecientes se reducirá en este aspecto, especialmente en lo relativo al transporte a través de los canales con regulación. En otros casos, el escurrimiento en los canales puede reducirse al infiltrarse el agua en los rellenos aluvionales del canal, siendo posible su utilización en tramos aguas abajo al excavar los sedimentos.

Esta situación se presenta en algunos ríos en forma natural y tal condición debe aprovecharse como una alternativa favorable para el suministro a granjas y pequeñas comunidades, lo que permitiría reducir las pérdidas por evaporación y a su vez ha de considerarse al planear las normas operativas para el suministro aguas abajo a los embalses principales.

Es contraproducente permitir que se construyan diques o "tapones" de cierre sobre los canales principales con el objeto de derivar, fijar tomas, o disponer temporalmente de almacenamientos de agua, que pueden ser causas modificadoras del equilibrio y la dinámica fluvial. Estas estructuras, a menudo construidas empíricamente por los agricultores y hacendados y a veces por organismos oficiales con deficiente asesoría técnica, tienen sólo una duración temporal y además representan zonas de almacenamiento que reducirían los caudales aguas abajo, lo que podría originar conflictos sobre el uso del agua cuando numerosos usuarios adopten esta modalidad de uso, desvirtuándose así el criterio del MARNR de mantenerse el escurrimiento en los cauces de la cuenca del Unare. También operarían como puntos de inestabilidad críticos, al favorecer una alta deposición de sedimentos y de desarrollo del plankton, que ulteriormente dañarían la calidad del agua hacia abajo, o bien causarían degradaciones locales al incrementarse la energía potencial, cuyos efectos sobre la estabilidad de los canales se pueden manifestar a mayor escala dentro del sistema de drenaje.

El riego con uso de fertilizantes debe manejarse con asesoría técnica, de modo que compuestos con altas concentraciones de nutrientes (P, N), dentro de áreas suministradoras inmediatas a los embalses, no se traduzcan en causas que aceleren la proliferación de las algas.

Finalmente, la complejidad del manejo de un sistema de embalses como el previsto en la cuenca del Unare, hace necesario que se implementen modelos de optimización del aprovechamiento de los almacenamiento en los embalses, que tomen en cuenta tanto el régimen hidrológico en los canales, los requerimientos de agua a los fines de suministro a poblaciones, uso para riego, las pérdidas en los embalses, así como su propensión al desmejoramiento de la calidad de las aguas por los hechos analizados previamente.

5.10 ESTRUCTURAS DE ALIVIO Y SUPERVISION DE LOS EMBALSES

Los criterios con los cuales se diseñan los aliviaderos en este tipo de embalse han de ser muy específicos, considerándose el carácter erodable de los materiales de construcción, sus capacidades, así como requerimientos deseados con el almacenamiento. Una combinación de aliviaderos-conductos, es la más recomendable forma de evacuar los excesos de caudales y volúmenes almacenados en los reservorios; también para preservar eficientemente la capacidad útil de ellos. Los aliviaderos deben ser contruidos sobre suelos o roca resistentes, con capacidad para aliviar los caudales de diseño a una velocidad de no erodabilidad. No deben emplazarse en materiales de relleno y han de protegerse luego con grama o cualquier cobertura protectora (roca, madera), en un largo trecho aguas abajo del dique, dependiendo del declive del canal. La fijación de vegetación permanente aguas abajo y en los alrededores del dique, es una buena práctica que contribuye a reducir la evaporación (minimiza el efecto del viento) y estabiliza los suelos. Tal evacuación debe hacerse cuando no existan riesgos de que por déficit de esorrentía, se reduzca notablemente el almacenamiento del embalse, lo cual sería crítico en el período seco subsiguiente. Esta operación ha de perseguir eliminar el mayor porcentaje de plankton que se acumularía en las áreas deltáicas, sedimentos almacenados en el embalse y evitar que excesivos caudales que puedan causar erosión en el dique o en el lecho aguas abajo, se produzcan y transiten por el aliviadero durante las avenidas.

A objeto de hacer más eficiente el manejo de estos pequeños embalses, es recomendable se instalen niveles que permitan llevar un control del almacenamiento para lluvias con diferentes duraciones e intensidades en la región. Los aliviaderos naturales situados hacia las zonas deltáicas son excelentes sitios para evacuar considerables volúmenes de sedimentos aportados durante las crecientes, siempre que ellas ocurran cuando los embalses se encuentren a capacidad lle
na. Estos ofrecen menores riesgos de fallas y por lo tanto son muy beneficiosos para favorecer la elección de los sitios de presas, mientras que ofrecen una mayor seguridad en su estabilidad.

Los conductos han de consistir de uno o varios tubos emplazados en el dique que interconecten al embalse con el terreno aguas abajo. El nivel de captación del tubo en el embalse ha de coincidir con el de aguas normales. Estos conductos pueden operarse en forma continua, aunque con caudales que representen una pequeña fracción de aquellos con los cuales se diseñan los aliviaderos normales. Para facilitar la operación, se puede disponer de llaves de control con lo cual es posible evacuar un caudal regulado para riego, suministro o vaciado del embalse. Tal mecanismo de operación puede ser muy ven
tajoso en aquellos embalses que inundan grandes extensiones superficiales sobre el nivel de aguas normales, siendo estos intervalos en los cuales el desarrollo de las algas es más activo.

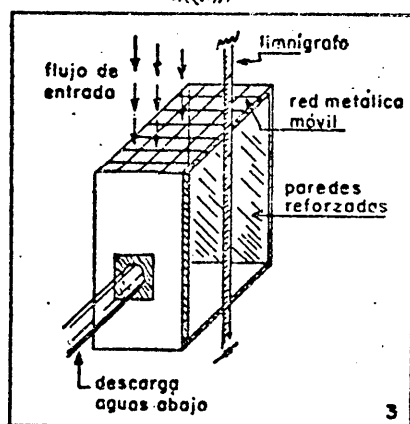
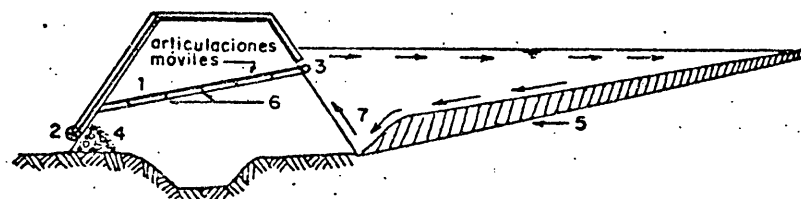
El mantenimiento y revisión periódica de los diques y estructu
ras de alivio, es indispensable para evitar severos daños o fallas en estas obras. El reconocimiento ocasional de los embalses, observación del estado de los diques (presencia de asentamientos, fracturas, erosión regresiva, zonas de fugas, etc.), deben ser detectados y reparados antes de alcanzarse condiciones críticas de estabilidad, especial
mente al inicio del período lluvioso.

El mayor y principal problema mostrado por estos diques se deriva del asentamiento y desarrollo de grietas en los primeros años, las que pueden evolucionar hacia enormes cárcavas produciendo a veces fallamiento. Esto puede evitarse sellando tales grietas y practicando nuevas compactaciones. La disposición de hierbas en los taludes y siembra de vegetación alta al pie de los diques aguas abajo, es un efi
ciente método protectivo para lograr la estabilidad definitiva de los mismos.

En otros casos, el fracturamiento y el agrietamiento en los sue
los finos es un factor importante de la reducción de la escorrentía aguas abajo. Si tal situación ocurre en algunas zonas, es impráctico

evacuar caudales que lleven a limitar el almacenaje durante el período seco y tal forma de operación debe realizarse a finales del período seco, cuando el suministro de escorrentía del período lluvioso garantice la recuperación del almacenamiento.

Finalmente, debe considerarse el efecto de la escorrentía superficial concentrada en los taludes aguas abajo de los diques, como resultado de la intensidad de las lluvias, las cuales producen una densificación de las redes por erosión intensiva, lo cual lleva a la debilitación de los materiales o a acelerar incipientes estados de sifoneaje. Lo primero fué verificado en la presa Cigarrón en fecha anterior a su fallamiento y si ello no fué directamente la causa de la ruptura del dique, ciertamente afectó su estabilidad y la hizo más crítica conforme el agua sobrepasó el nivel de seguridad de la presa en construcción.



CROQUIS Nº 9

- 1- Conducto de alivio.
- 2- Descarga del conducto o sifón con llave de cierre.
- 3- Entrada del conducto con rejilla e indicador de niveles (ver detalle)
- 4- Filtro del dique (grava ó roca picada).
- 5- Depósito sólido después de varios años de operación.
- 6- Uniones con espaciado según diámetro de la tubería (25 Ø c/u).
- 7- Circulación general del flujo.

Nomenclatura propuesta y criterios de diseño de conductos de alivio y otras estructuras para lagos colinarios.

Una aplicación hidrológica importante que puede lograrse de estos embalses, es la determinación de ratas de evaporación y pérdidas por infiltración. En tal sentido no dejaría de ser útil establecer limnigrafos en los contribuyentes para evaluar los caudales aportados, así como de los flujos de advección, considerando los sólidos suspendidos efluentes y el contenido de sólidos solubles en las aguas.

TABLA N° 8

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS PRINCIPALES EMBALSES EN LA CUENCA DE UNARE

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Embalse	Elev. normal (msnm)	Cap.en 10 ⁶ m ³ (S)	Area (Has)	Relac.analit. alt-capac. x 10 ⁻⁴	Tipo * Embalse	Propósitos ** (1)
Caño Largo (2)	100.7	52.5	2700	H = 26 S ^{0,47}	III	I, U, P, C, R, F
Playa e Piedra (3)	137.2	140.0	2200	H = 143 S ^{0,35}	III	I, U, P, C, R, F
Estancia (3)	102.2	110.0	2400	H = 3,5 S ^{0,69}	IV	I, C, F
Cigarrón (3)	71.5	246.0	5050	H = 60 S ^{0,37}	II	C, I, F
El Olivo	98.75	307.0	4760	H = 15,8 S ^{0,49}	III	I, C, F
Taparito (3)	70.0	15.0	480	H = 1360 S ^{0,26}	I	I, C, F
Guaical (3)	115.0	5.0	200	H = 340 S ^{0,35}	II	I, S, C, F
El Cují (3)	32.0	49.3	1270		-	I, F, C
El Médano (3)	119.0	12.0	400	H = 2,3 S ^{0,40}	II	I, F, C
El Pueblito (3)	80.0	315.0	4900	H = 271 S ^{0,35}	II	I, F, C
El Paso	114.2	20.0	975	H = 84 S ^{0,425}	III	I, F, C
El Andino (3)	43.0	9.5	325	H = 22 S ^{0,51}	III	S, F, C
Jabillal (3)	115.75	7.6	300	H = 9240 S ^{0,15}	I	U, I, C, R, P
La Becerra (3)	75.6	466.0	1780	H = 54 S ^{0,28}	I	I, U, C, F, P
Vista Alegre (3)	98.5	49.0	972	H = 327 S ^{0,344}	II	

* Según el criterio de Van't Hut.

** I - Riego; U = suministro urbano; R = recreación; P = piscicultivos;

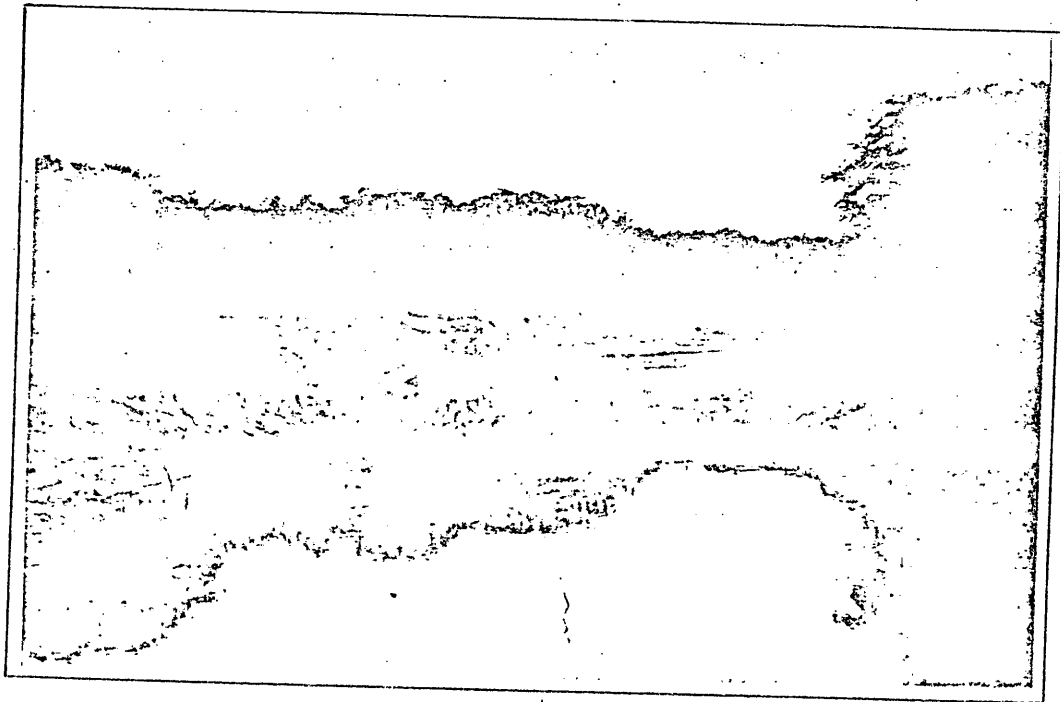
C = control de erosión y crecientes; F = fomento de la fauna;

(2) - Prioridad Secundaria (3) terminados ó en ejecución.

Los aliviaderos de emergencia en los grandes embalses exigen, más que los otros, una supervisión y mantenimiento continuos, especialmente en altos niveles y durante la época lluviosa cuando el fisuramiento, filtraciones de agua, asentamiento en los materiales, erosión regresiva en el dique, erosión debido al impacto de la precipitación u otras causas, pueden contribuir a su deterioro y eventual falla.

La ruptura del aliviadero de emergencia existente en el embalse de El Cigarrón (10-12 de Julio de 1979), fué un ejemplo de cómo puede desarrollarse este tipo de fallas. Afortunadamente no existía para la fecha infraestructura de riego o asentamientos poblacionales en las áreas bajas que hayan podido hacer críticos o cuantiosos los daños de la avenida, la cual afectó zonas que en otras condiciones no estaban propensas a sufrir inundaciones. Un volúmen estimado de 150 mill de m³, aproximadamente, se fugó del embalse en un lapso de 15 a 20 días, produciéndose un canal profundo a través de una zona boscosa por una extensión de 1,5 Km. El canal se estabilizó verticalmente en un horizonte de lutitas grises muy compactas y resistentes a la erosión, entre 10-12 m de profundidad.

La foto inferior muestra una vista aguas abajo desde el dique provisional de tierra construido en el sitio de falla, donde puede observarse el tipo y las estructuras erosionales.



Bajo estas condiciones se requiere mantener una supervisión continua para detectar posteriores procesos erosivos que dañen las nuevas obras, cuando los suelos exhiben características diferentes de las presentes en sus condiciones originales. Como detalles interesantes del mecanismo erosional, deben citarse la estructura final amenazada del nuevo canal; el avance activo de la erosión en los taludes mediante el desplome de los materiales conforme progresaba la disecación vertical del canal y la existencia en el lecho, después de finalizar la escorrentía en el cauce, de abundantes bloques redondeados de lodo ("mud balls"), derivados de fragmentos de arcillas compactas de los taludes, llevados a esta configuración por efecto de su permanencia en el flujo con alta turbulencia y los cuales se estabilizaron en el lecho al cesar la escorrentía. (Ver fotografía en la página anterior).

5.11 SEDIMENTACION EN LOS EMBALSES: ASPECTOS GENERALES

Con el propósito de diagnosticar la influencia del sedimento en los embalses de la cuenca de Unare, se ha procedido a seleccionar los más importantes, tanto ejecutados como por ser construidos en un futuro. A los fines de planificación a mediano y largo plazo de los recursos hidráulicos, éste es un aspecto de importancia, no sólo en lo relativo a los efectos detrimentales del sedimento sobre los reservorios, sino también en lo atinente al equilibrio en las condiciones de erosión y deposición a través de los canales aguas abajo o aguas arriba de las presas y su ulterior influencia, tanto en embalses situados aguas abajo (serie), así como en lo relativo a la dinámica de transporte en los canales. Se han considerado adicionalmente aquellos que por sus períodos de operación permiten además evaluar al presente sus estados evolutivos, detectándose los cambios y efectos más resaltantes en ellos creados respecto al uso del agua y pérdida de las capacidades de almacenaje.

En cada caso los cálculos se han realizado persiguiendo obtener:

- a. Clasificación y comportamiento del embalse, así como eficiencias de atrape del sedimento y su evolución futura (o actual, casos de embalses existentes).
- b. Probables distribuciones del depósito sólido usando métodos probabilísticos y semi-empíricos que permitan rectificar las curvas de almacenaje en los embalses después de un período de operación dado.

A objeto de realizar estos cálculos -tediosos por el volumen de cálculos numéricos-, se ha implementado un sistema para computadoras digitales que se ha denominado -SEDEM- (SEDimentación-EMBalses), el cual permite realizar estas operaciones y obtener salidas apropiadas a los objetivos propuestos.

Como datos de entrada se usa la información hidrometeorológica, el aporte y características de sedimentos, así como las características físico-geométricas de los vasos de los embalses.

Detalles sobre los procedimientos, relaciones entrada-salidas, aspectos analíticos, estructuras del sistema SEDEM, se muestran en el Apéndice A.

Con el propósito de resaltar diferencias entre el comportamiento de embalses con distintas capacidades, éstos se han agrupado en dos categorías según el almacenaje original exceda o no a $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ y se hace necesario considerar además como invariables a las ratas de producción de sólidos en las diferentes cuencas.

Los cálculos de sedimentación en los diferentes embalses de la cuenca presumen que la distribución del sedimento se realiza desde el inicio de la operación de los mismos y la más importante suposición de que a partir de entonces, no es posible que se altere la rata media de erosión en las diferentes cuencas, situación que no debe descartarse en esta zona. Los resultados obtenidos con el uso del programa SEDEM, muestran algunos hechos de interés, tal como se desprende de la Tabla No. 9, que serían, a saber:

- a. La sedimentación de los embalses no es acelerada, aparte de que material es predominantemente fino. Tanto los pequeños como los grandes embalses tienen períodos de vida útil compatibles con los criterios originales de diseño. Debe considerarse, sin embargo, que no deja de ser un problema la reducción de la capacidad en relativamente cortos períodos de tiempo; mientras que ésto se traduce en la disminución de la eficiencia de aprovechamiento de sus capacidades con fines de suministro, control de inundaciones, regulación de la escorrentía en los canales, etc.
- b. Las ratas de eficiencia de atrape de sedimentos por estos embalses se consideran relativamente altas, tanto en embalses pequeños como de mayor capacidad. Mientras que en la mayoría de los embalses los aportes de escorrentía anual de las cuencas son menores a las capacidades de los reservorios. Sin embargo, en aquellos como

- El Guaical, donde la capacidad del reservorio es menor que los aportes de escorrentía anual, es factible la pérdida de una mayor fracción de la capacidad en un período de tiempo más corto. La presencia de la vegetación en los deltas contribuiría a elevar la retención del sedimento, pero es factible, además, que sus desarrollos, así como el desplazamiento de las terrazas y capas frontales, se vean retrasadas en el tiempo.
- c. La reducción del transporte por efecto de la deposición en los embalses en dirección aguas abajo, además de lo observado en los que están operando, sugiere que los procesos de degradación general de los lechos serán poco significativos, lo que puede atribuirse al carácter estable de los suelos debido a su cohesividad. Es importante, sin embargo, hacer un seguimiento de los caudales de extracción de los embalses más importantes, así como la frecuente verificación de la geometría de los canales para evaluar la estabilidad de los mismos y precisar la forma en que debe reajustarse el transporte por los tributarios que descargan aguas abajo de las presas.
 - d. El costo más significativo derivado del uso del agua en los embalses de la cuenca, proviene del tratamiento requerido para eliminar el sedimento fino y la materia orgánica, cuya dispersión en los vasos se hace más efectiva durante el período lluvioso debido al transporte durante las crecientes. Esta situación es más problemática en aquellos cuyo uso contempla el suministro a poblaciones.
 - e. Si como resultado de la operación de los embalses y la extracción de agua en el período seco, se desarrolla una degradación en los canales con suministros de sedimentos que, lejos de contribuir a preservar las lagunas de Unare y Píritu -destino final de los sedimentos-, lo que pueden es acelerar su sedimentación; entonces es necesario mantener un cuidadoso control de este aspecto, porque de su comportamiento dependerá cualquier esquema de manejo de los recursos naturales renovables en la cuenca del Unare, aparte las restricciones impuestas por la disponibilidad y requerimientos del recurso más importante: el agua.

TABLA N° 9

RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO Y EVOLUCION DE LA SEDIMENTACION
EN DISTINTOS EMBALSES DE LA CUENCA DEL UNARE

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Embalse	Capacid. original	Escurr. anual	Período de análisis	Período de operación considerado	Volumen sólido depositado	Pérdida capacidad	Variación del atrape	Cota al pie presa	Duración estimada
Olivo	300	120	100	65	50,0	17	93-98	86,0	515
Cigarrón	250	132	100	75	25,0	10	91-98	59,5	615
Taparito	15	20	50	30	2,4	16	89,5-98	64,2	170
Paso	19	12	50	38	2,3	12	92-98	105,5	260
Guaical	4,9	17	50	18	1,5	27	82-94	114,0	50
Andino	9,5	2,0	50	45	1,8	20	97-98	57,0	170
Vista Alegre	50	40	100	50	5,0	10	90-98	90,75	185
Playa de Piedra	140	100	50	100	20,0	15	92-98	130,0	550
Pueblito	300	125	100	115	38,0	15	94-98	60,5	800
Becerra	340	145	100	80	35,0	10	93-98	63,0	720
Estancia	160	40	100	85	15,0	10	96-98	90,0	600
Médano	12	15	50	25	1,5	13	86-98	113,0	180

Expresión de unidades:

(2) Millones de m³

(6) Millones de m³

(9) m/n.m.m. al final del período analizado

(3) Millones de m³

(7) % de la capacidad

(10) años

(4) y (5) años

(8) %

5.12 CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS EMBALSES. USOS MULTIPLES Y CLASIFICACIONES

La Tabla No. 8 contiene las características más importantes relativas a clasificación, relaciones analíticas alturas-capacidades y usos básicos perseguidos con algunos de los embalses más importantes de la cuenca de Unare. La clasificación a los fines de los cálculos de la distribución del sedimento, se ha hecho usando el criterio de Van't Huf, que se fundamenta en la relación a escala logarítmica entre las elevaciones y el almacenaje del embalse y cuyas pendientes deducidas de los Gráficos Nos. 24 y 25, permiten obtener los tipos standard mostrados en la columna (6) de la Tabla No. 8, página 133. Mientras que el atrape y distribución del sedimento está relacionado con la forma de operación y el uso perseguido con el embalse, se han destacado los propósitos más importantes de los mismos.

La vegetación (bosques naturales, hidrófitas), distribuida en los niveles superiores de los vasos hacia los deltas, desempeña un activo papel como factor de atrape del sedimento, aunque el más fino -el de mayor porcentaje-, puede lograr distribuirse por amplias extensiones de los reservorios. En el mismo sentido puede operar el hecho de que ellos en su mayoría presentan escasas profundidades derivadas de lo relativamente llano de las tierras deltáicas inundadas.

En los embalses sujetos a variaciones de niveles donde superficies de los depósitos estén expuestas a la atmósfera, se producirá desecación y estabilización del sedimento fino. Varios de los embalses inspeccionados en el período seco, cuando se reducen sus almacenajes, no muestran, sin embargo, desarrollo de capas frontales o terrazas deltáicas, notándose una uniforme distribución areal del depósito sólido.

La Tabla No. 8 muestra que la pendiente de las curvas de alturas-capacidades en la mayoría de los embalses, es menor que 0,5, con valores máximos en el almacenamiento de hasta 500 mill de m^3 ; ello permite inferir notables variaciones en la distribución del sedimento de uno a otro embalse.

Formas de los vasos y las curvas de alturas-áreas-capacidades de los embalses La Estancia y El Cigarrón, los cuales muestran diferencias en el almacenaje de 10/1, se muestran en los Mapas No. 26 y 27. Ambos presentan contribución de diferentes cauces y ello obviamente hace más compleja la distribución del depósito sólido. Esta es una característica común de muchos de los embalses en la cuenca de Unare.

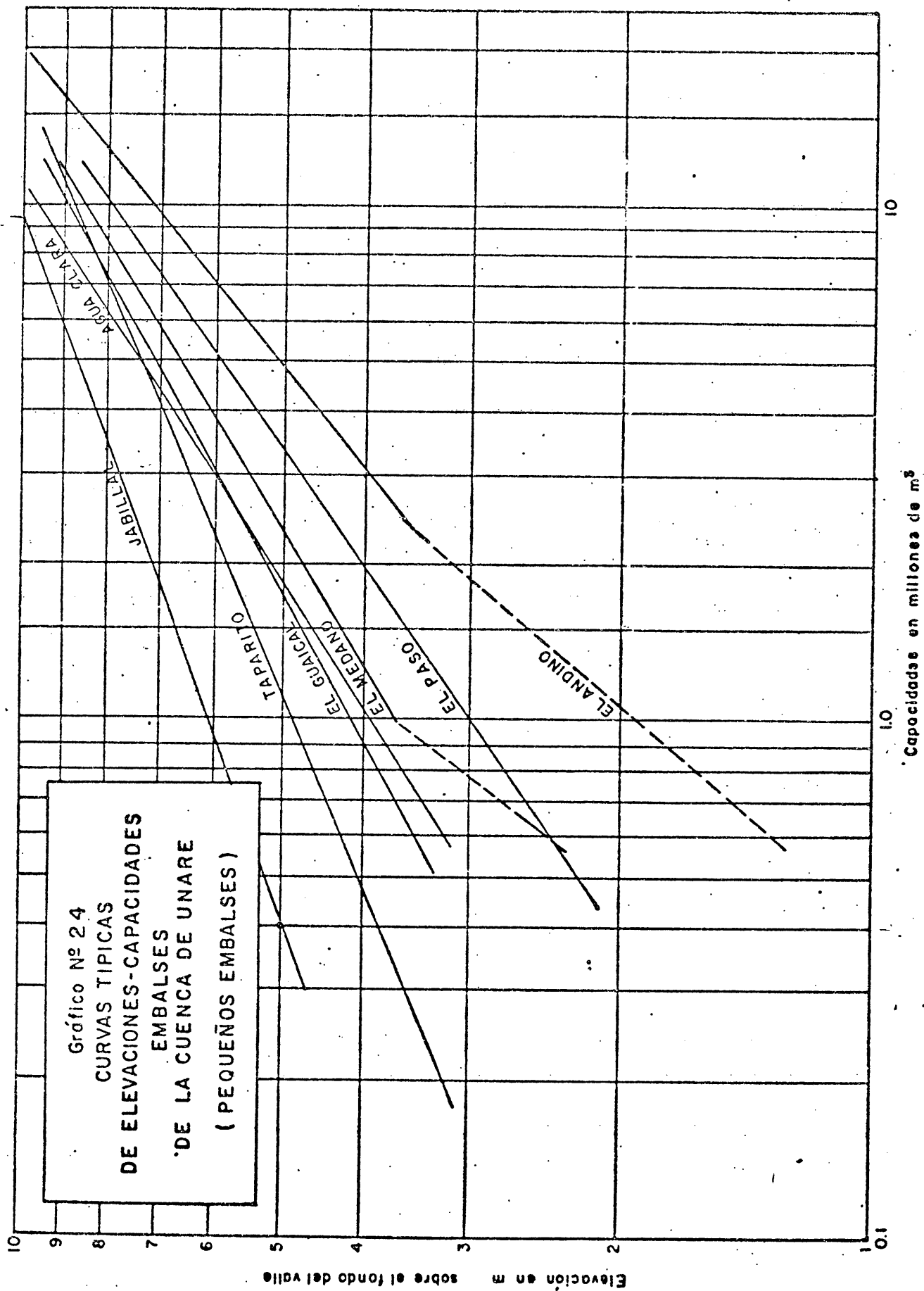


GRAFICO Nº 26

MORFOLOGIA SUPERFICIAL Y CURVAS DE AREAS-CAPACIDADES
DEL EMBALSE EL CIGARRON - ESTADO GUARICO

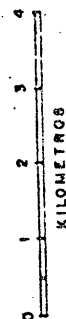
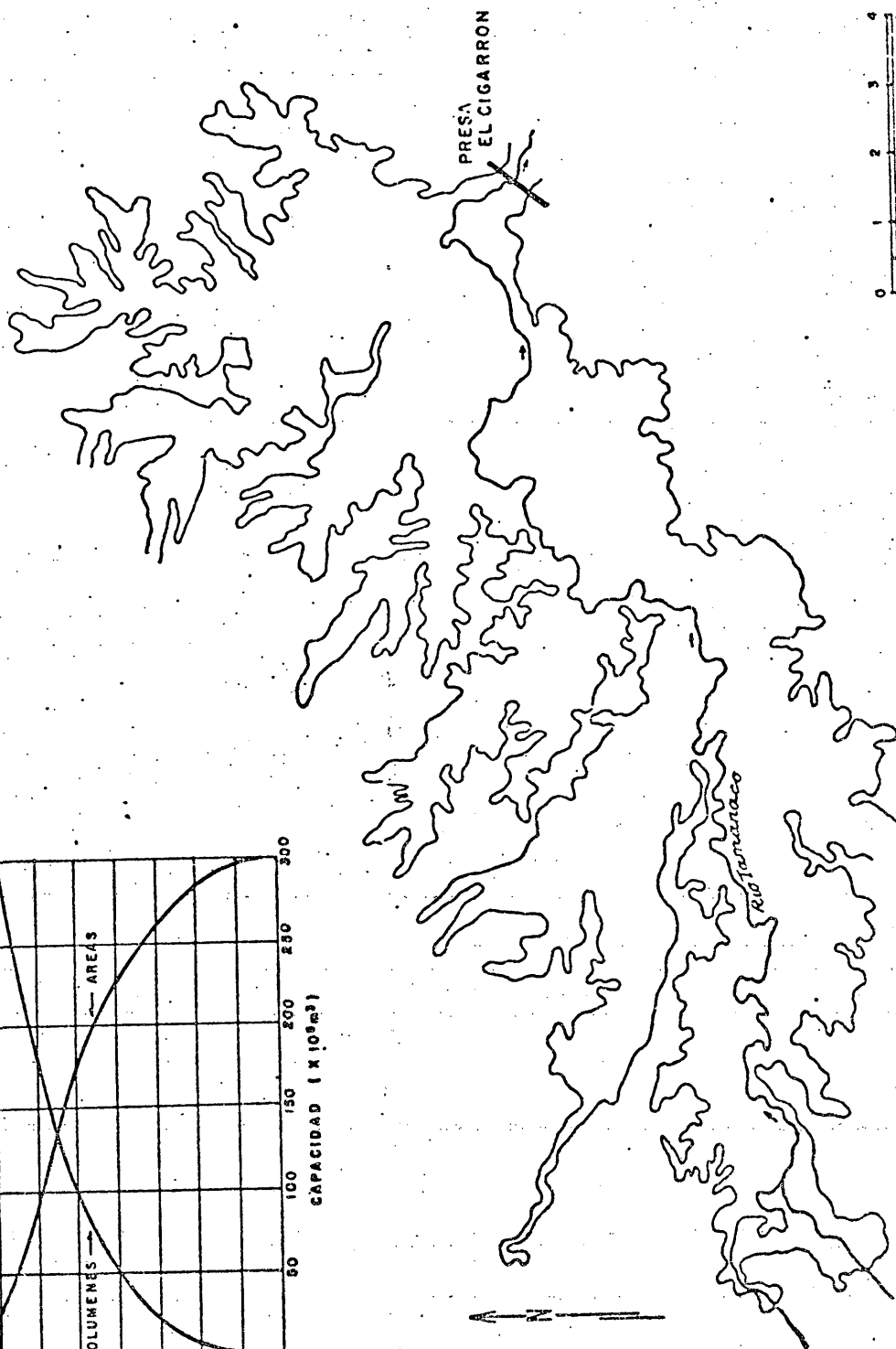
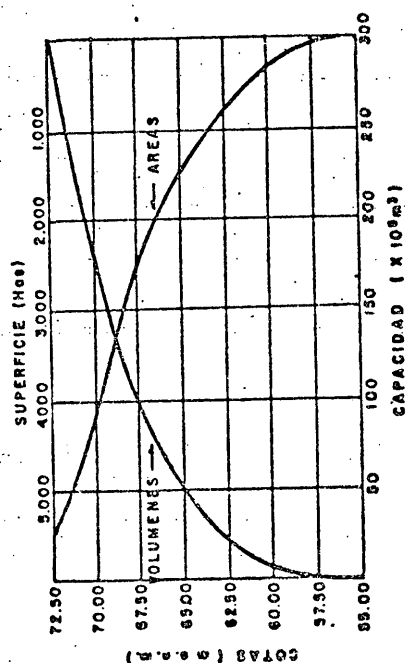


Grafico Nº 25
 CURVAS TÍPICAS
 DE ELEVACIONES-CAPACIDADES
 EMBALSES
 DE LA CUENCA DE UNARE
 (GRANDES EMBALSES)
 $C > 20 \times 10^6 \text{ m}^3$

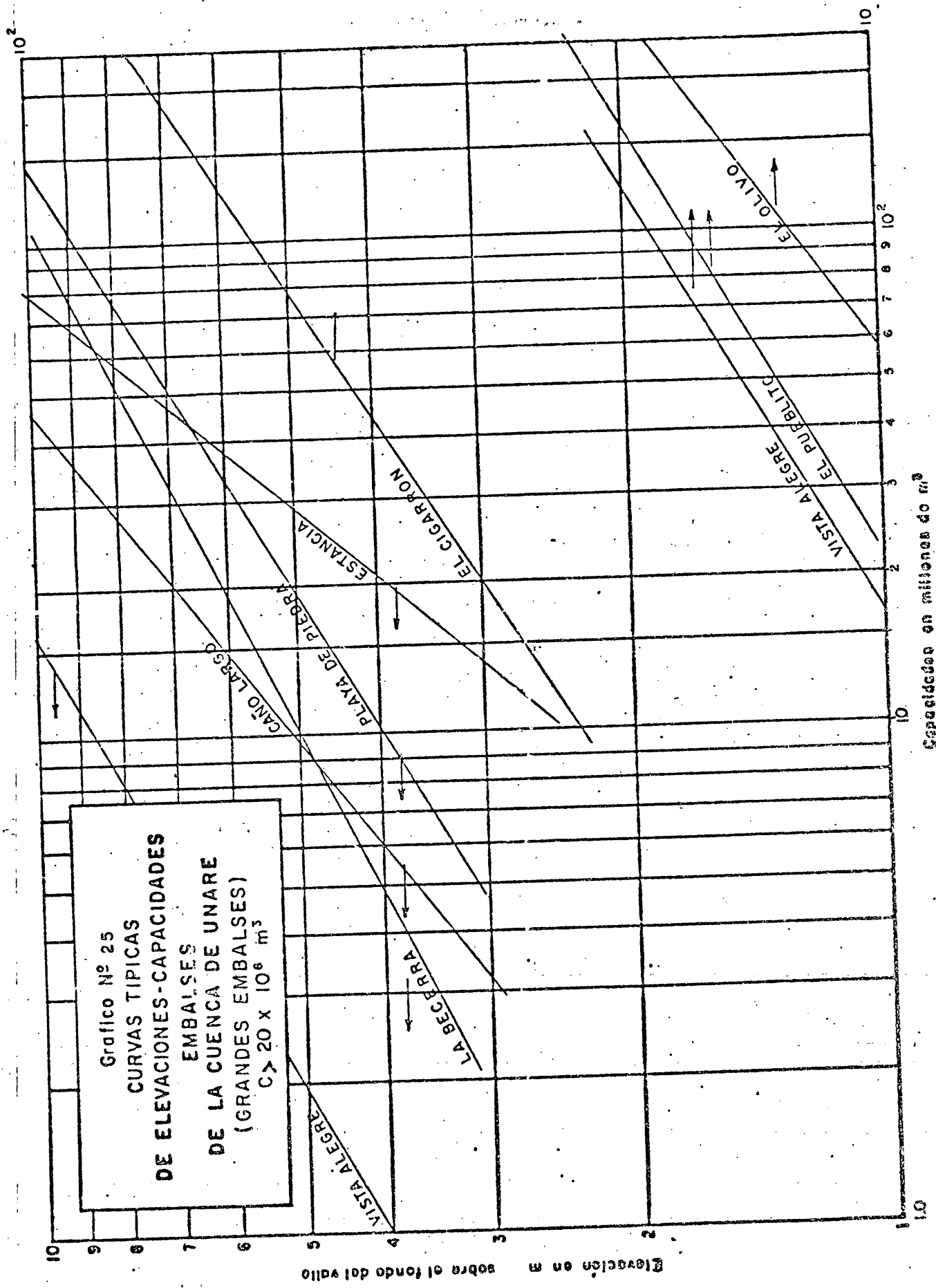
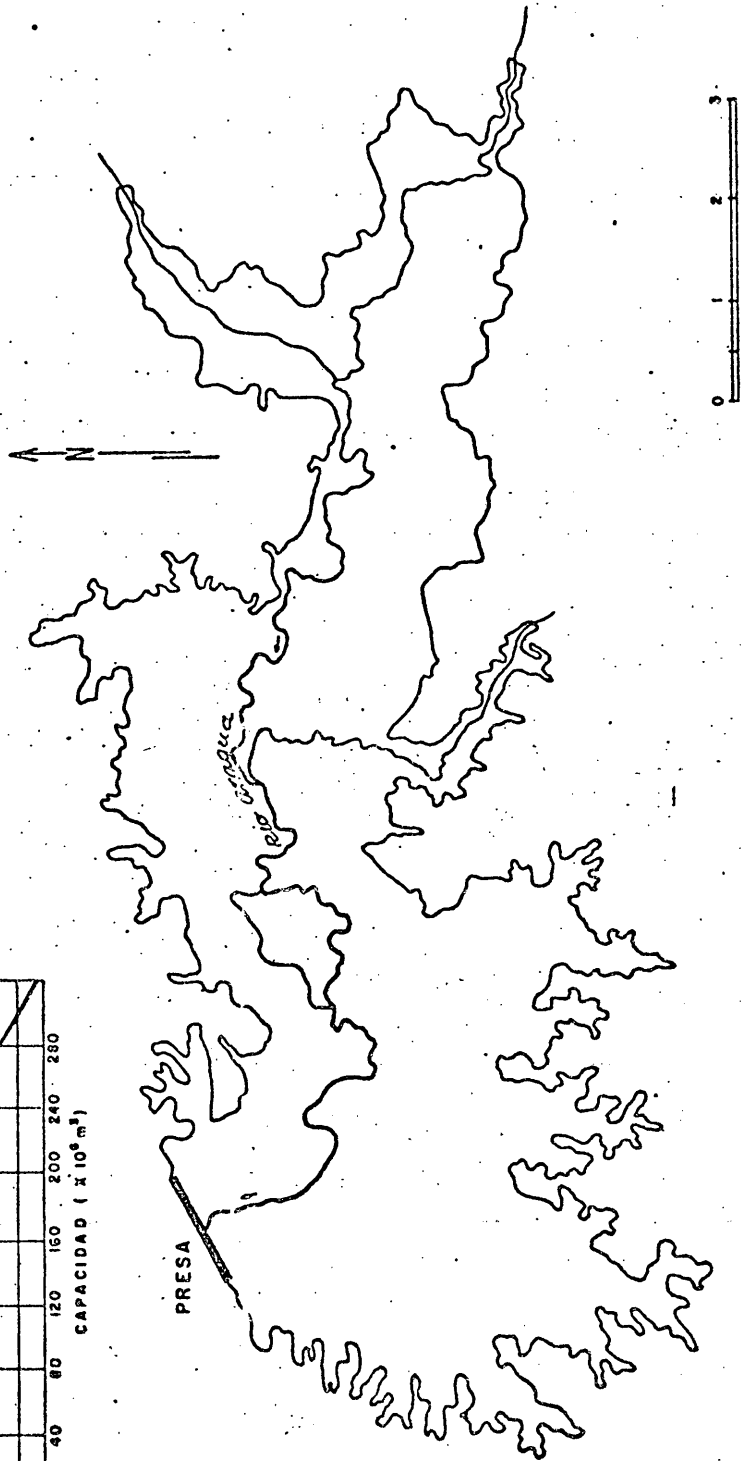
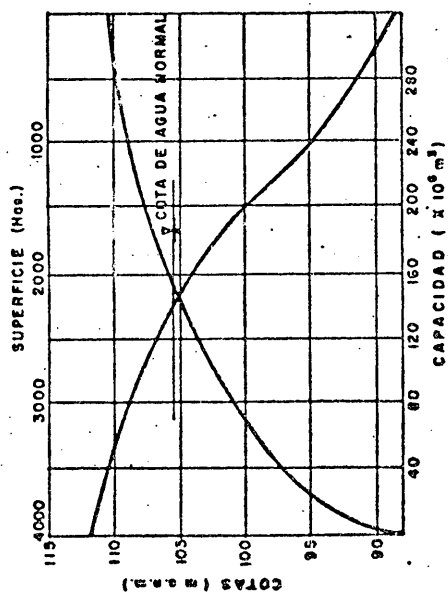


GRAFICO Nº 27

MORFOLOGIA SUPERFICIAL Y CURVAS DE AREAS-CAPACIDADES
DEL EMBALSE LA ESTANCIA - ESTADO ANZOATEGUI



La forma en las estructuras deltáicas derivadas de las múltiples confluencias de varios canales en las áreas de inundación, podrían no resultar tan complejas si se considera que, siendo el sedimento predominantemente fino, su distribución se haga uniformemente sobre el vaso. Esta es la situación que puede observarse en la evolución actual de los embalses construidos.

6. HIDROQUIMICA Y MANEJO DEL RECURSO HIDRICO

En cuatro aspectos del uso del agua en la cuenca de Unare dentro de los próximos años, deben hacerse consideraciones en relación a los factores determinantes de su calidad, tanto en el ambiente superficial como subterráneo, debido a los cambios a los que está propensa como resultado del desarrollo e intensificación del aprovechamiento de sus recursos naturales. Estos son de orden de importancia: suministro a poblaciones, riego, uso industrial y preservación del ambiente hidroecológico.

6.1 SUMINISTRO A POBLACIONES Y USO INDUSTRIAL

El primero es el objetivo fundamental del uso del agua actualmente y los efectos resultantes sobre su calidad están relacionados íntimamente con los otros propósitos mencionados arriba. Aunque es cierto que después del sedimento producido por erosión natural, la mayor cantidad de contaminantes proviene del uso para abastecimiento, éstos causan un daño al agua menor que el causado por los contaminantes de naturaleza industrial. La mayoría de los centros poblacionales de la cuenca tienen abastecimiento de agua desde embalses, haciéndose necesario pensar en las alternativas para eliminar los contaminantes que de otra forma, al retornar a los cauces, desmejorarían su calidad en los tramos inferiores a los sitios de disposición. Tales materiales de naturaleza biodegradable pueden eliminarse parcialmente si se usan tipos primarios o secundarios de tratamiento. Los estanques o lagunas de estabilización, serían una solución apropiada a las condiciones topográficas de áreas colinales poco depresivas y a las características climáticas de la región; con lo cual se lograría, además, fomentar el desarrollo intensivo de algas y producción de fertilizantes orgánicos, ambos comercialmente explotables. Pueden analizarse diversas variantes (afluente tamizado, sistemas primarios de sedimentación, estanques secundarios en serie o marginales a los cauces, etc.), así como los dependientes de las condiciones de oxigenación y/o tipos de procesos biológicos recomendados.

La influencia de contaminantes industriales tiene en el presente menor importancia, pero ello puede cobrar relevancia en los próximos años debido a la propensión de las fábricas a establecerse en las cercanías de los centros de consumo y a la descentralización industrial desde las grandes urbes que ha comenzado a ponerse en práctica en el país. Así, su influencia para el conjunto de embalses y/o la vida acuática, debe ser considerada, especialmente en aquellos ríos que drenan el frente de montañas al Norte de Guárico y Anzoátegui.

La Tabla No. 10 es un resumen de los probables contaminantes industriales, su origen y características que pueden afectar los recursos naturales de la cuenca. Algunos de estos renglones han mostrado una mayor tendencia a desarrollarse rápidamente en la región, especialmente hacia la zona baja de Unare-Píritu.

6.2 RIEGO

Como resultado de la deforestación y el tratamiento de las tierras para el riego, la acción tanto de las aguas de escorrentía como la de riego (suministrada desde los embalses), conlleva a una activa remoción de minerales y sólidos desde el suelo, especialmente de los canales. En consecuencia, las aguas de retorno al canal principal contienen progresivamente una mayor concentración de compuestos solubles e iónicos que hacen necesario el uso de una mayor demanda y suministro para la misma eficiencia de lavado. A su vez, se induce un deterioro gradual de los almacenamientos superficiales como resultado de la concentración progresiva de sales.

En algunos casos, si los suelos son sensibles a los cambios de humedad y temperatura como los de la cuenca de Unare, los efectos pueden ser importantes y críticos para la conservación de embalses y la calidad de las aguas. Esto es más real al final de períodos secos, cuando el suelo puede suministrar bajo condiciones de desecación, un mayor porcentaje de elementos. Los almacenamientos subterráneos pueden experimentar cambios resultantes de la acción y percolación vertical de sales disueltas y otros contaminantes, especialmente en las planicies fluviales.

El flujo de retorno en los suelos de la cuenca de Unare aprovechados para riego, puede ser variable, aunque determinado principalmente por el escurrimiento superficial y el exceso de flujo (derrame) sobre las planicies fluviales o entre parcelas bajo riego, como elementos positivos y la evaporación como factor reductor del mismo.

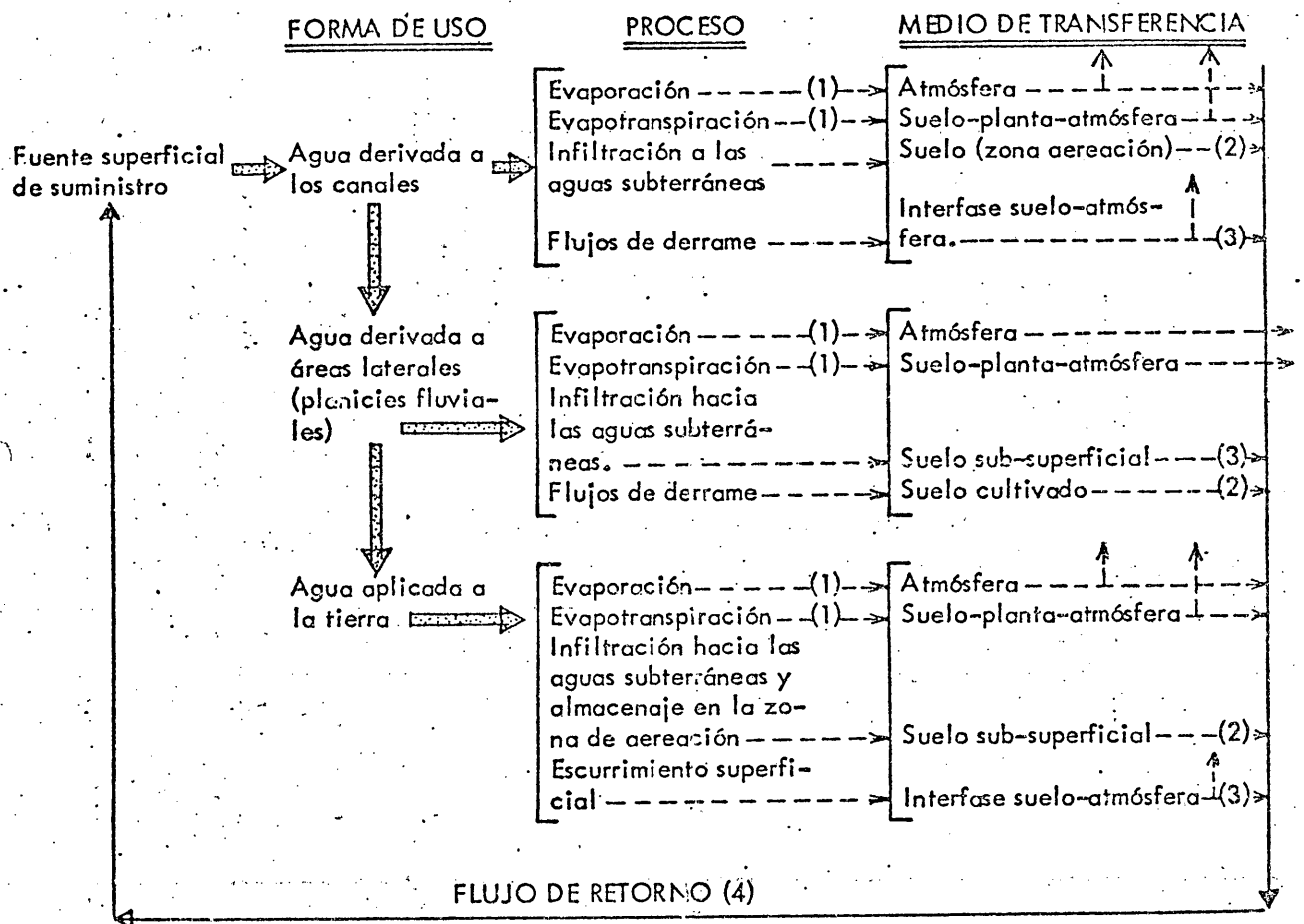
TABLA N° 10

CONTAMINANTES INDUSTRIALES, ORIGEN Y CARACTERISTICAS-EFECTOS SOBRE LOS RECURSOS NATURALES EN LA CUENCA DE UNARE

(1) TIPOS DE INDUSTRIA	(2) ORIGEN DEL CONTAMINANTE	(3) PROPIEDADES RELEVANTES	(4) EFECTOS
Enlatados	Tratamiento de frutas, vegetales y carnes	Materia orgánica coloidal, soluble e insoluble, residuos proteicos, alto BOD.	Deposición e los lechos y plásticos fluviales, impermeabilización del fondo, nubes oleosas.
Industrias lácteas	Tratamiento de leche, fabricación de queso y grasas animales.	Altos porcentajes de materia orgánica soluble, proteínas lacteas, etc.	Interferencia con la vida acuática, eutroficación de embalses, hacen no estética el uso del agua con fines recreacionales, aumentan notablemente el costo de tratamiento.
Destilación de bebidas fermentadas ó no.	Residuos alcohólicos, condensados resultantes de evaporación de líquidos volátiles.	Alto porcentaje de sólidos orgánicos solubles con teniendo nitrógeno y productos fermentativos, alto PH, sólidos suspendidos y alto BOD.	Similares a los anteriores pero con mayor impacto sobre la vida acuática efectos biológicos irreversibles a largo plazo (químicos).
Lavado de telas y procesamiento de cuero.	Lavado de fábricas, curtientes con compuestos de blanqueado y suavizadores.	Alta dureza, sales, alcalinidad y sólidos orgánicos.	
Textiles	Cocido de fibras (algodón) limpieza y tratamiento con productos químicos complejos.	Alta alcalinidad, colorantes, alta temperatura y concentración de sólidos suspendidos.	
Acidos y detergentes	Dilución de ácidos en las aguas, limpieza y purificación de detergentes.	Bajo PH del agua, alto BOD y productos orgánicos.	Efectos importantes sobre la vida acuática. Deteriora la calidad del agua. Altas eutrofización.
Farmacia y fotografía	Productos de filtración y lavado, filadores, residuos minerales y orgánicos.	Alcalinidad, agentes reductores de diversa composición, compuestos orgánicos complejos.	tratamiento, contaminación de los aguas subterráneas, degradación estética del ambiente, efectos desagradables.
Papel y pulpa	Cocido, refinado y lavado de fibras.	PH alto o bajo, productos solubles e suspendidos, materia coloidal orgánica y mineral.	
Tratamientos metálicos	Eliminación de óxidos, limpieza y platinado.	Fuente de materia mineral, ácidos, alcalis y materia suspendida fina.	
Vidrios y cerámica	Soluciones alcalinas, colorantes, suministro de sólidos suspendidos.	Residuos y concentraciones altas de sólidos suspendidos.	
Aceites orgánicos e hidrocarburos.	Actividad Industrial, bombas y lavado de maquinarias, descargas naturales o inducidas.	Materia insoluble no biodegradable alta dispersión y transporte en suspensión.	Reduce la vida acuática, cambian propiedades de suelos, altas costas de tratamiento de las aguas. Efectos persistentes.

GRAFICO Nº 28

COMPONENTES DEL FLUJO DE RETORNO EN UN SISTEMA DE RIEGO, MODIFICADO DE ELDRIDGE



Rangos normales $\Sigma (1) = 15 - 40\%$; $\Sigma (2) = 5 - 60\%$; $\Sigma (3) = 5 - 25\%$; $\Sigma (4) = 20 - 60\%$ (35% Prom.)

El Gráfico No. 28 muestra cómo se distribuye el agua asignada para riego, su asociación con otros destinos, el tipo de proceso experimentado por los flujos y el medio a través del cual se produce la transferencia. Dependiendo de la cantidad del flujo de retorno, se tendrá una mayor o menor proporción de sales disueltas, excepto cuando debido a su precipitación, ellas sean disminuidas, aunque posteriormente estén aptas para removerse por flujos adicionales a partir del suelo o zonas de deposición.

6.3 PRESERVACION DEL AMBIENTE HIDRO-ECOLOGICO. LAGUNAS DE UNARE-PIRITU

Mientras que los medios de descarga del río Unare al Mar Caribe se producen a través de una zona estuarina de transición que contiene a dos de las principales albuferas de las costas de Venezuela; la conservación de la calidad del agua, tanto de los caudales afluentes del río como en las propias lagunas, es una necesidad básica para el desarrollo de la vida acuática y del propio equilibrio fluvial en estos sistemas. Si las fuentes de contaminantes se localizan, de otra parte, en zonas adyacentes a éstas, los riesgos de efectos nocivos y la intensidad con que se producen las perturbaciones del medio, se harán más notorios y desarrollados a corto plazo. Esto es ya evidente en una zona sujeta a la penetración humana, sin que se estén adoptando las medidas para disponer adecuadamente los contaminante o tratar las aguas hasta niveles en que los efectos detrimentales sean reducidos. Es más crítico aún el hecho de que las fuentes de suministro de contaminantes son cada vez más inmediatas al borde de las lagunas, lo cual se ha facilitado a través de la construcción de vías de acceso, dotación de servicios y facilidades a una zona donde la actividad humana es creciente, especialmente a través del urbanismo.

La importancia para la Nación de las lagunas de Unare y Píritu, va más allá de preservar meramente un ambiente costero que tiene importancia turística y recreacional. En las zonas estuarinas con estas características, por ser tan limitada y periódica la circulación hídrica, por su relativa poca profundidad, su carácter restringido y condiciones bioecológicas; los efectos resultantes de contaminantes, aún en bajas concentraciones, son más intensos que en otros medios, debido a que la estabilidad y sensibilidad de estos sistemas es incipiente ante los cambios artificiales y aún naturales, que con respecto al comportamiento de otros ambiente hidrológicos. Así por ejemplo, aún el agua dulce producida por crecientes extraordinarias, contribuye a modificar la salinidad o la temperatura a niveles tan variados en estos me

TABLA N° 11

PROPIEDADES Y CONSTITUYENTES DEL AGUA ALTERADOS POR LAS PRACTICAS DE RIEGO Y CONSUMO

(1) Factor de Calidad	(2) Causas	(3) Medios Afectados	(4) Efectos observados en otras cuencas
Sales y compuestos iónicos	Disolución, acción de la escorrentía, lavado por riego.	Suelo-Agua	Empobrecimiento del suelo, limitación en el riego, incremento hasta de 5 veces.
Dureza	Disolución de sales, calcio y magnesio.	Aguas	Aumenta notablemente, es uno de los más importantes aspectos.
TDS	Disolución química y erosión	Aguas-Suelos	Grandemente aumentados, erosión de los suelos. Incrementos afectan la calidad del agua.
Temperatura	Balance de energía térmica y turbulencia del flujo.	Aguas-Suelos	Aumenta, en casos importante como factor de dilución, regulador de procesos biológicos (aspectos no bien investigados).
Turbidez-Color	Presencia de partículas y sólidos coloidales, sólidos solubles etc.	Aguas	Aumenta en flujos de retorno, limita desarrollo de la vida acuática. Aumenta costos de tratamiento.
Olor	Descomposición de la materia orgánica y otros compuestos. Actividad de nutrientes.	Agua-Suelos Atmósfera	Aumenta en aguas de retorno debido al aumento de TDS gases y rápida eutroficación. Importante aspecto estético.
Nutrientes	Actividad biológica e inter-relación agua-suelos-organismos.	Aguas-Suelos	Generalmente aumenta en las aguas. Si la fuente es exógena, hay evidencia conflictiva, efectos a corto plazo.
Bacterias	-	Aguas-Suelos	Limitación para prácticas de riego. Algunas patógenas, otras beneficiosas para la formación del suelo y su evolución.

dios, de tal forma que muchas especies en estados incipientes de desarrollo o larval, pueden desaparecer en grandes cantidades. Un fenómeno similar puede ocurrir con especies sensibles a condiciones hipersalinas, cuando se produce alta desecación de las lagunas por efecto de la evaporación en el período seco, como ocurre periódicamente.

Esta es una condición natural y periódica anual que ocurre en las lagunas de Unare-Píritu y a menos que existan excedentes notables en los embalses y se disponga de diagnósticos convincentes de lo que significa cambiar artificialmente estos sistemas con suministros elevados del agua desde los embalses, la decisión de tomar tal medida operacional debe verse con expectativa y estar supuesta a evaluaciones previas; especialmente de diagnósticos biológicos, antes de hacerlas en forma recurrente y continuas. Así, siendo ellos excelentes y únicos medios de proliferación de los recursos pesqueros y marinos, la desaparición o alteración en las condiciones hidrobiológicas naturales, pueden traducirse en cambios del habitat para especies que tienen allí su medio de producción natural y que representan niveles de la cadena alimenticia que preservan o mantienen los recursos pesqueros del mar, de forma que las pérdidas y daños causados por este efecto a la Nación, son superiores a los localmente detectados dentro de las propias lagunas, como resultado del urbanismo y el uso no reglamentado e inadecuado de las tierras adyacentes. Obviamente, un factor condiciona a otro y hace más compleja la problemática.

Las consideraciones anteriores sugieren, además, que al comenzar a operar el conjunto de embalses dentro de la cuenca de Unare y a suministrar agua en el período seco a través de los canales, ello traiga consigo una "recuperación hidrológica" de las lagunas. Este proceso debe llevar aparejado la contemplación de medidas de control de disposición y distribución de contaminantes y estudios del comportamiento bioecológico dentro de estos ambientes, a objeto de que tales cambios no resulten perjudiciales y puedan diagnosticarse con antelación consecuencias detrimentales en la evolución del sistema, causadas por las perturbaciones artificiales del medio.

6.4 CLASIFICACION Y PROPIEDADES DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

Con el propósito de tipificar las aguas superficiales y definir sus más importantes características físico-químicas actuales (1979), se muestra en el Gráfico No. 29 un diagrama trilinear de Piper, donde se han representado los análisis de aguas en diferentes estaciones en varios ríos de la cuenca. Sobre un número de muestras de 100, el 90%

de los mismos corresponden a los espectros mostrados tanto para las aguas en canales de escorrentía como para la de los embalses. Una menor dispersión en las concentraciones de los constituyentes aniónicos y catiónicos, se detecta en las aguas superficiales de ríos en la zona centro-oriental de la cuenca respecto a las almacenadas en los embalses, notándose además contenidos relativamente bajos del $\text{SO}_4^{=}$ en estos últimos respecto a las primeras, como es natural que ocurra.

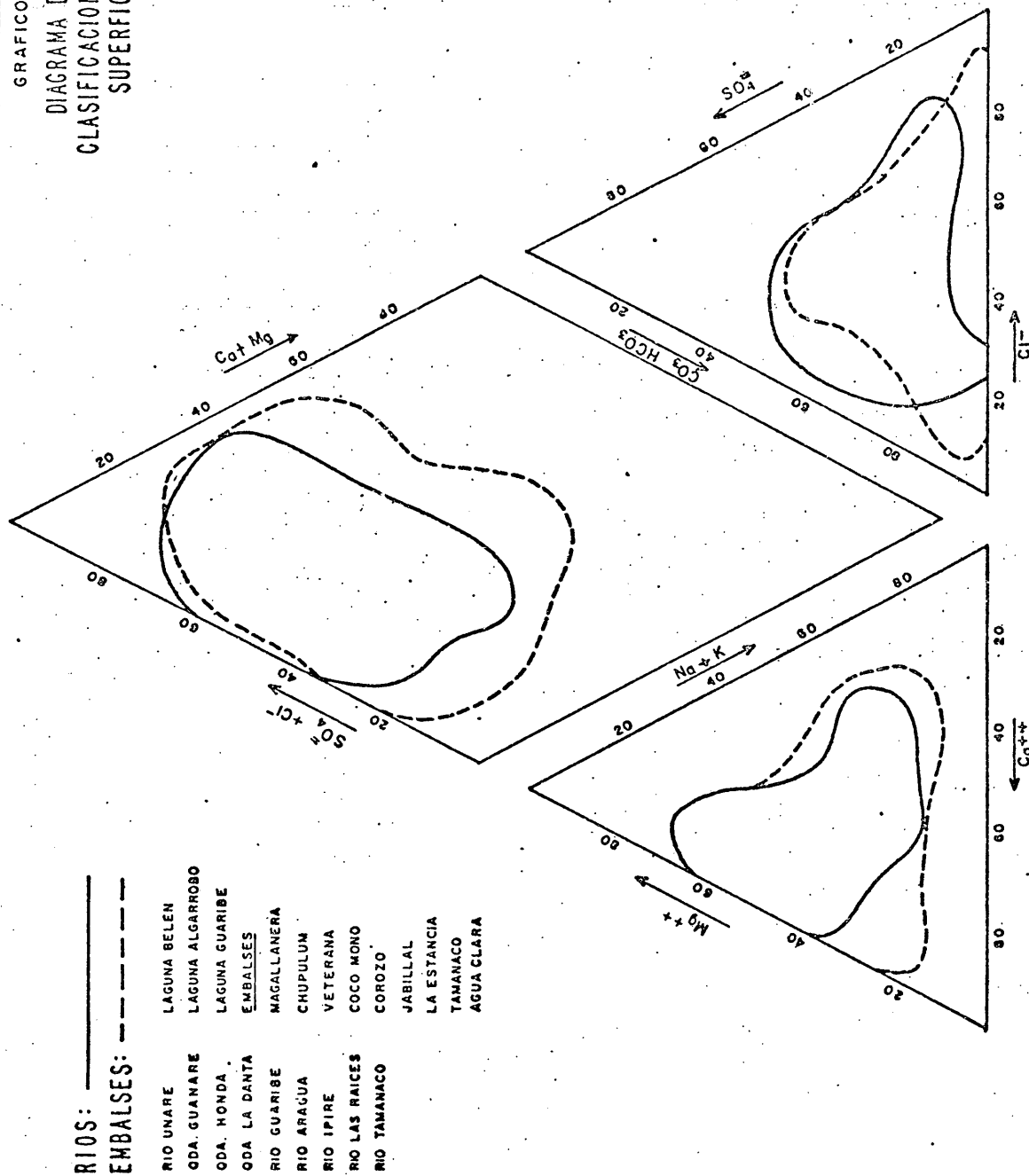
Un alto porcentaje de los análisis muestran gran similitud en la variación y rango de las concentraciones de constituyentes medidos, catalogándose a ambas como pertenecientes a grupos similares en composición.

Las aguas superficiales exhiben características predominantemente cálcico-bicarbonatadas, existiendo pocas diferencias entre las aguas de escorrentía y las almacenadas en los embalses. Esto indica que aparte de los cambios de turbidez creados por las crecientes y flujos normales del período lluvioso, así como los de carácter biótico, pocos cambios son experimentados en el carácter físico-químico de las aguas en los embalses. Es de resaltar el carácter agrupado de los muestreos correspondientes a las aguas superficiales, comportamiento atribuible al tipo homogéneo de los suelos y a la geología uniforme de las formaciones expuestas superficialmente. Los análisis e interpretación de los ensayos, así como la clasificación de las aguas con fines de riego, se han efectuado mediante el uso del programa DIAPER, perteneciente a nuestro archivo de programas.

La presencia de $\text{SO}_4^{=}$ en aguas de escorrentía de ríos de la zona oriental (Aragua, Unare superior, Guere, etc.), reflejan la ocurrencia frecuente del yeso en asociación a los suelos superficiales. En ésta condición es factible su solubilidad y transporte en forma iónica durante el proceso de escurrimiento superficial, pero los límites de ocurrencia no hacen actualmente limitante al agua con fines diversos. Ni en embalses que son periódicamente tratados con sales sulfatadas, los niveles encontrados son altos como sucede en Jabillal.

El Gráfico No. 29 muestra en forma superpuesta los diagramas trilineales de análisis de las aguas en las estaciones y embalses indicados, ilustrándose las curvas envolventes para aquella frecuencia de 90%, basadas en un número muestral de 100 en las primeras y 150 en las últimas. Algunas analogías se detectan en el grado de concentración de elementos catiónicos, mientras que un incremento relativo a otros aniones, normal en el contenido de $\text{CO}_3^{=}$ y HCO_3^{-} , se nota en las aguas de escorrentía superficial respecto a los embalses. En con

GRAFICO Nº 29
DIAGRAMA DE PIPER
CLASIFICACION DE AGUAS
SUPERFICIALES



traste, relativa abundancia de $\text{SO}_4^{=}$ se encuentra en aquellas muestras del río Aragua lo cual, en asociación a la variación en los rangos de ocurrencia de otros constituyentes, hace que las mismas difieran de los campos establecidos de la mayoría de los análisis. En general estas aguas presentan concentraciones límites de TDS inferiores a 250 ppm.

6.5 CLASIFICACION Y PROPIEDADES DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Datos de la calidad del agua en pozos ubicados en los alrededores de Tucupido (Guárico) y región centro-Sur del Estado Anzoátegui, así como en las regiones costeras de la cuenca, se han representado en el Gráfico No. 30, discriminándose a éstos según la profundidad del pozo, hecho al cual se atribuye la notable dispersión de los puntos que reflejan la alta variabilidad composicional de las aguas. Ellos corresponden a muestras captadas en pozos que presentan desde pocos metros de profundidad hasta niveles de -250 m (referido a la cota del terreno).

Las aguas subterráneas, en general, exhiben una tendencia hacia el carácter sódico-carbonáticas, considerando las distribuciones del mayor porcentaje de muestreos, siendo más cálcicas en aquellos pozos del Guárico entre 50-100 m de profundidad, las cuales señalan además incrementos en el contenido de Cl^- . Estos pozos en su mayoría se localizan en un sector comprendido entre las coordenadas $09^\circ 30' \text{ N}$ y $66^\circ 00' \text{ W}$. Los pozos analizados dentro del Estado Anzoátegui bordean la divisoria nor-oriental, comprendiendo pozos tanto de las partes altas como bajas y costeras de la cuenca.

La ocurrencia en las muestras de aguas en pozos con diferentes ubicaciones en la cuenca, muestran que el contenido de hierro en los rangos de 0,01-0,5 mg/l, corresponde a 82%; entre 0,57-5,00 mg/l a 14% y menor a 10 mg/l a 4%. Tales concentraciones en las aguas subterráneas al igual que en las aguas superficiales, indican una relativa alta movilidad y presencia de este elemento en ambos ambientes.

El hierro bajo la forma férrica (Fe^{+++}), puede ser removido y transportado, asociado a los sedimentos por las aguas de escorrentía desde los suelos superficiales a través del proceso de erosión y desde los propios lechos de canales hasta largas distancias, incrementándose su solubilidad en zonas de estancamiento como caños, cauces abandonados y las mismas planicies fluviales. En estas condiciones él puede aparecer, además, como hidróxidos complejos estables, bajo amplios rangos de variación del pH de las aguas naturales o bajo la forma de óxidos insolubles.

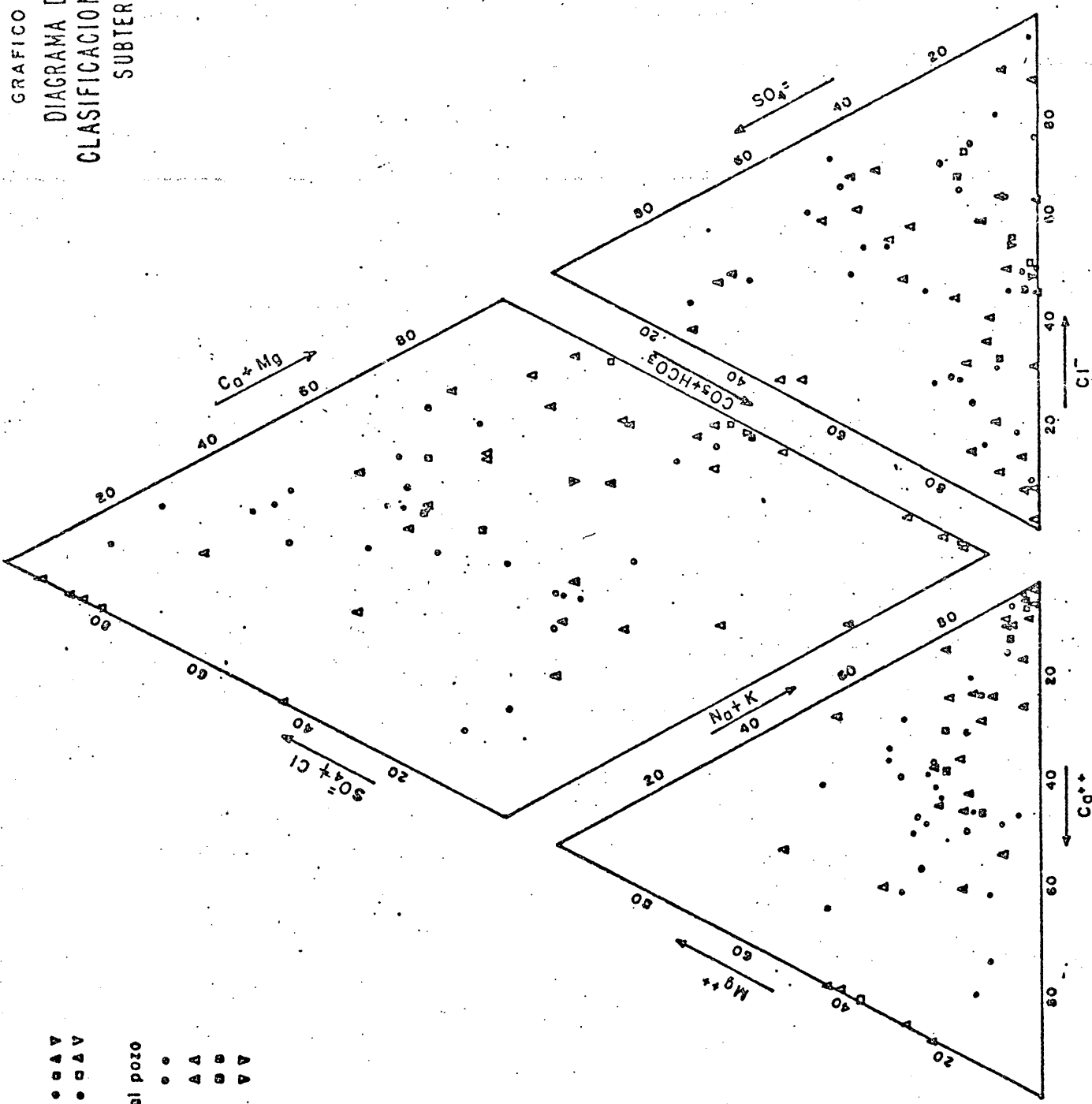
GRAFICO Nº 30
 DIAGRAMA DE PIPER
 CLASIFICACION DE AGUAS
 SUBTERRANEAS

POZOS

ANZOATEGUI ●●●
 GUARICO ●●●

Profundidad del pozo

0 - 30 m ●●
 51 - 100 m ▲▲
 101 - 200 m ○○
 200 - 250 m ▼▼



Las concentraciones más anormales y notables por el alto contenido de TDS, se han registrado en pozos a veces de relativamente escasa profundidad, como las observadas en el (GU5646004A, Pan de Azúcar, Estado Guárico*), cuya profundidades de 60 m y produce aguas saladas con 5.700 ppm de TDS, una conductancia específica de 7.500 mhos/cm y 2.100 ppm de Cl^- . Muestras de otros pozos en el bajo Unare y Clarines, en áreas próximas a las costas del Caribe, han reportado conductancias tan elevadas como 22.000 mhos/cm y 6.930 ppm de Cl^- (AN6043005A), que corresponde a tipos muy salados y representan evidentemente, a aguas connatas que han tenido poca mezcla con las meteóricas superficiales y han permanecido aisladas dentro de los acuíferos por la presencia de barreras estratigráficas impermeables; hecho favorecido por el carácter impermeable de los estratos en sus contornos, la alternancia sedimentaria y/o el limitado desarrollo lateral de los medios de almacenamiento.

Bajo ambientes geológicos restringidos en lo relativo a circulación hídrica, han podido concentrarse las sales y constituyentes de las aguas en mares someros en profundidad y afectados por la evaporación. En adición al relleno sedimentario, ésto condujo a desarrollarse almacenamientos de aguas con estas características. Tales mecanismos fueron realmente importantes en los últimos estados de desarrollo de la cuenca geológica que encierra a los llanos centrales de Venezuela, de los cuales la cuenca de Unare fué una zona de recepción y concentración final de elementos (agua, sal y sedimentos), aportados desde las áreas marginales, hasta que finalmente como respuesta al tectonismo, al aporte de materiales finos y disueltos a la zona, terminó adoptando la configuración que exhibe actualmente. En esta área los almacenamientos subterráneos han tenido poca oportunidad de intercambio con aguas superficiales y donde la recarga a los aluviones es realmente importante, sólo a través de los bordes y planicies adyacentes a los canales y en menor grado a través de los suelos predominantemente finos e impermeables de la cuenca.

En algunos pozos de Anzoátegui (Aragua de Barcelona, Cantaura), se han encontrado aguas salinas asociadas a gases de hidrocarburos, los que provienen de formaciones más profundas y en su ascenso han contaminado niveles superficiales. En esta zona el TDS varía en el rango de 300-3.000 ppm, con niveles hasta de 700 ppm de $\text{SO}_4^{=}$ y conductancias variables entre 500-4.500 mhos/cm.

* Nomenclatura de la División de Hidrogeología, Dirección de Hidrología del M.A.R.N.R.

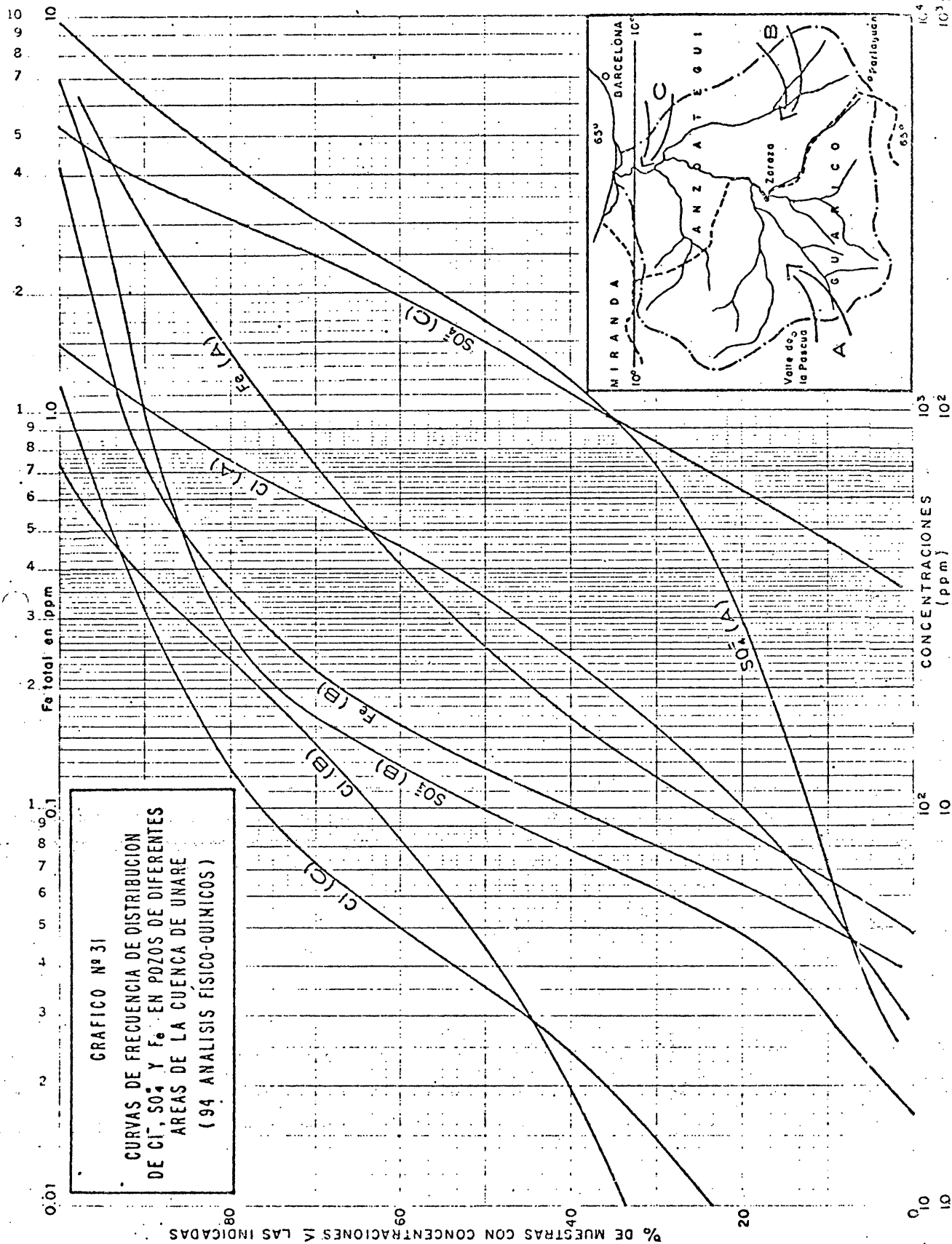
6.6 CONSTITUYENTES NOTABLES EN LOS SUELOS Y AGUAS

Tres elementos importantes por su significancia geoquímica y por su ocurrencia dentro de las aguas subterráneas de la cuenca, han sido analizados en un mayor detalle. Se trata del $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- y Fe (total). Se han seleccionado tres áreas que muestran la mayor densidad de pozos dentro de las cuales existe una aceptable disponibilidad de ensayos físico-químicos.

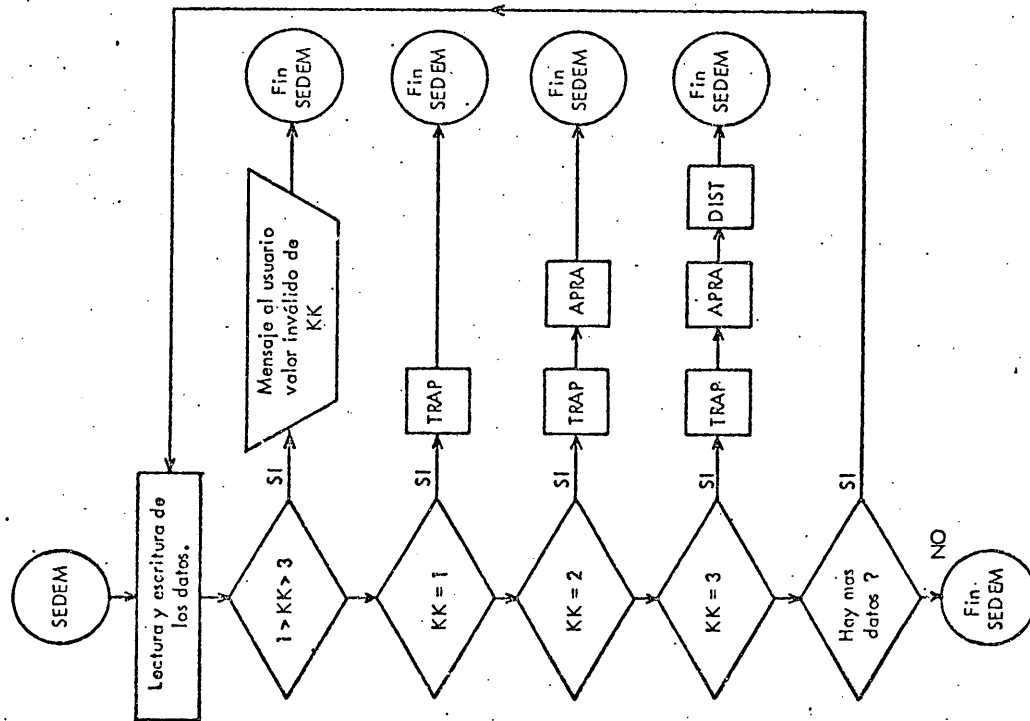
El Gráfico No. 31 ilustra diferentes curvas de frecuencias que muestran las tendencias de distribución de las concentraciones de estos constituyentes, resaltando el incremento notable de las diversas magnitudes en las aguas de pozos localizados en el Guárico central respecto a las observadas en otras áreas, encontrándose que tanto en ésta como en la cuenca inferior, en un 60% de las muestras las concentraciones de $\text{SO}_4^{=}$ están comprendidas en el rango de 100-800 ppm. El Cl^- y Fe son además notablemente superiores cuantitativamente a la primera respecto a otras zonas. El hierro, aún cuando se reporta en forma ferrosa y férrica, ha mostrado ser más importante como Fe^{++} en las aguas subterráneas; así, durante las excavaciones en eje de la presa El Pueblito (río Quebrada Honda), en las cercanías de Tucupido, se interceptó un acuífero formado por arena limpia* de 10 m de espesor, conteniendo sus aguas 4,5 ppm de Fe^{++} . Materiales con estas características no se observan superficialmente y se manifiestan en el subsuelo del valle como cauces antiguos asociados a ambientes más húmedos que los actuales, tal como se confirmó de la presencia de restos de vegetación boscosa, encontrada durante las labores de excavación.

La amplia variabilidad de las concentraciones de $\text{SO}_4^{=}$ en el Guárico central, pueden reflejar diferencias en las profundidades de los pozos de donde provienen las muestras. Pero aún cuando ellas se mantienen relativamente altas, existen pocas posibilidades de contaminación de las aguas superficiales. Esta situación, sin embargo, debe visualizarse si se trata de lograr en un futuro la conversión de pozos petroleros abandonados para aprovechamiento de las aguas subterráneas; ellos existen en buen número dentro de estas zonas y alcanzan profundidades tales que la consideración de la calidad del agua, es un factor importante y en muchos casos limitante para su real factibilidad.

* Medición de la permeabilidad en el laboratorio indicó valores de 2×10^{-2} cm/seg, con una porosidad de 0,40.



ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA PARA EL CALCULO DE LA VIDA UTIL DE LOS EMBALSES Y DISTRIBUCION DEL DEPOSITO SOLIDO EN EL RESERVOIRIO



ESQUEMA CONCEPTUAL SIMPLIFICADO DEL BLOQUE TRAP DEL SISTEMA SEDEM

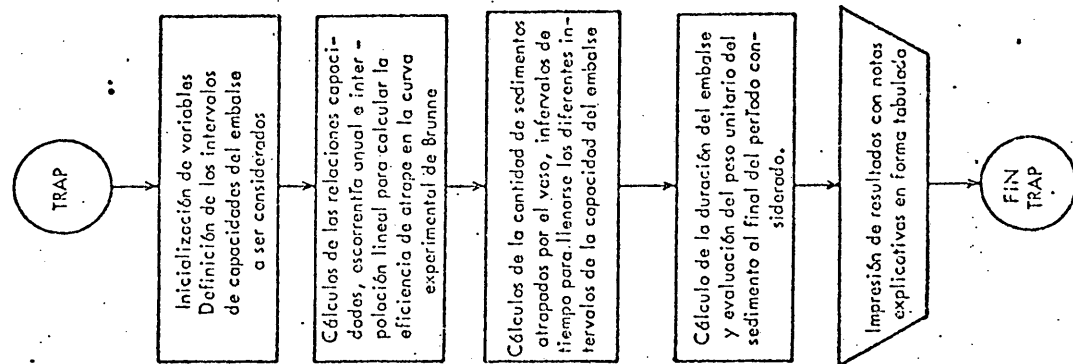
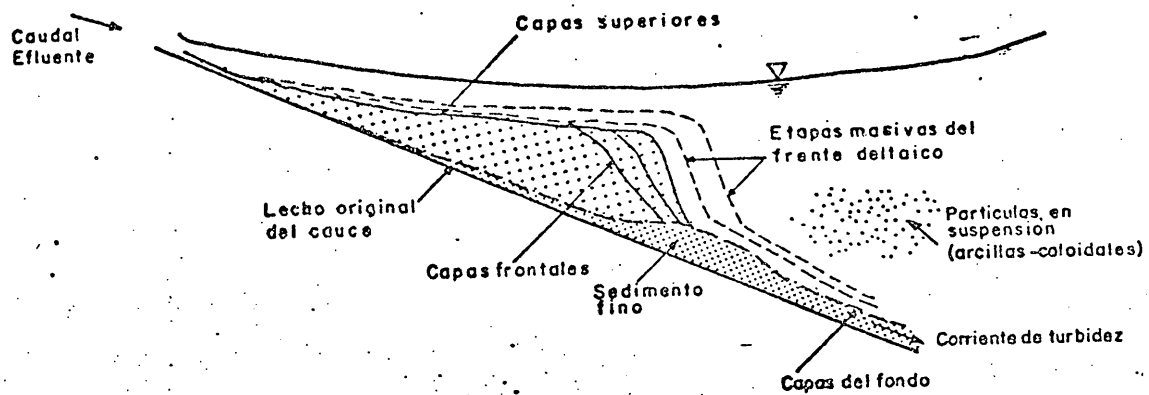
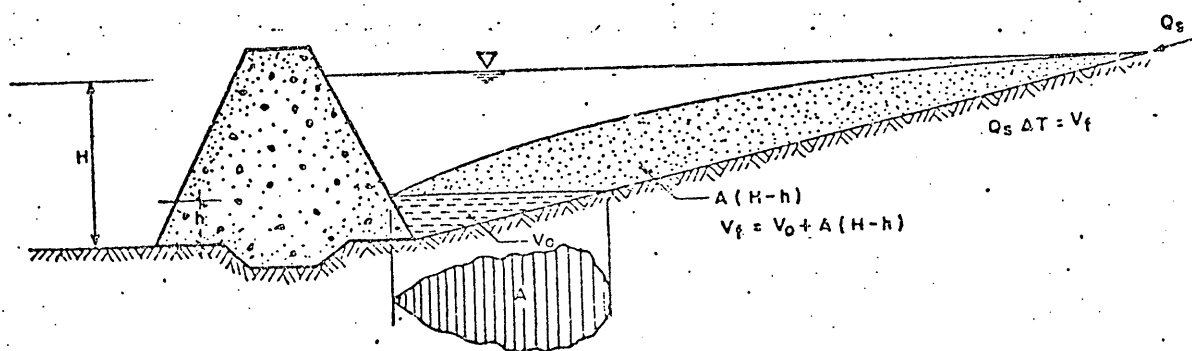


GRAFICO Nº 33



SECCION LONGITUDINAL DEL DESARROLLO TÍPICO DE UN DELTA SEDIMENTARIO EN UN EMBALSE

GRAFICO Nº 32



DISTRIBUCION DE LOS SEDIMENTOS EN UN EMBALSE USANDO EL METODO DE LAS AREAS INCREMENTADAS.

$$(\%) T_o = f(\text{capacidad embalse/escorrimento anual}) \dots (1-A)$$

En adición, el peso unitario del sedimento al cabo de un período de 100 años de operación es calculado usando las ecuaciones deducidas por Miller (1953) y las cuales se ajustan según el tipo de sedimento (fino predominante) y forma de operación del embalse (descensos moderados), usando la expresión deducida por Lara-Pemberton, que es de la forma:

$$\gamma_s = \gamma'_s + 0,434 k \left[\frac{1}{T-1} L(T) - 1 \right] \dots (2-A)$$

relación que considera los cambios del peso unitario en el sedimento como consecuencia de la compactación del depósito con el tiempo. La expresión gráfica de la función de Brunne se muestra en el Gráfico No. 34 y la misma se pone en evidencia que la rata de atrape de los embalses disminuye conforme el tránsito del agua y sedimento a través del vaso se hace más efectivo a través del tiempo. Ello está condicionado bien por un exceso de la escorrentía respecto a la capacidad del embalse, o por el mismo carácter del material, que determina fundamentalmente la forma y tipo de su distribución.

En este sentido, algunos factores importantes a considerarse adicionalmente en los embalses de la cuenca de Unare, son:

- a. El carácter predominantemente fino de los materiales suministrados a los embalses.
- b. La presencia y abundancia de vegetación en los deltas y bordes de los embalses.
- c. La circulación interna del agua en los embalses condicionada por la acción de los vientos, oleaje, corrientes de turbidez, etc.
- d. Cambios y variaciones térmicas de las aguas, especialmente en áreas deláticas de escasa profundidad.

A.4 BLOQUE APRA

El Bloque APRA (Gráfico No. 37), permite ejecutar la distribución del depósito sólido usando el método de las áreas incrementadas. El método asume que el volumen sólido de un largo período se distribuye sobre el vaso según una relación de la forma:

$$V_f = \int_0^h A_h dy + K \int_h^H \frac{a}{A_h} dy \dots\dots\dots (3-A)$$

$$V_f = V_o + A (H-h) \dots\dots\dots (4-A)$$

para todo el depósito al cabo de n años de operación.

El proceso de cálculo verifica para los diferentes niveles del depósito sólido al pie de la presa si el volumen de sedimento a distribuirse, se aproxima dentro de un error permisible (error 2,5%), a la cantidad de sedimento suplido al embalse durante el período de vida útil considerado. Cuando ello no es logrado por la separación arbitraria asignada a los intervalos de elevación en las curvas de alturas-áreas-capacidades, entonces se orienta al usuario, a través de mensajes, a hacer las correcciones debidas en la entrada de datos.

A.5 BLOQUE DIST

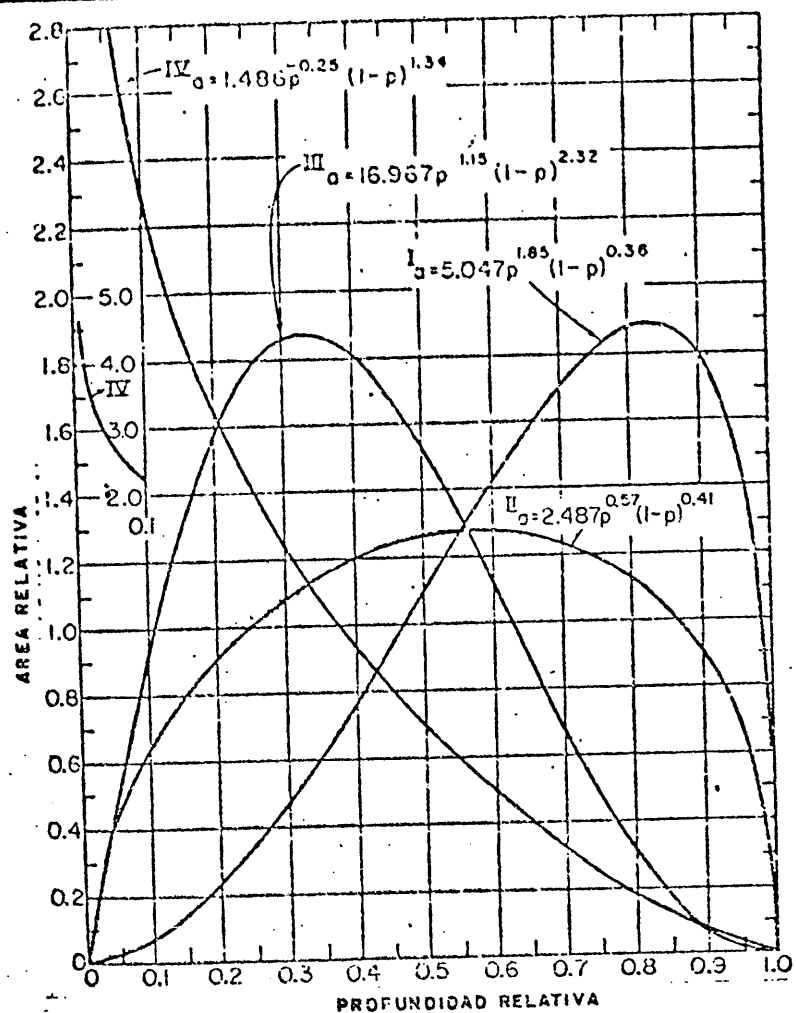
En este método (Gráfico No. 38), se define a partir de las curvas de altura-capacidades, la clasificación del embalse según el criterio de Van't Hut y se selecciona la forma standard apropiada para realizar la distribución del sedimento. Estas curvas han sido transformadas por Moody para ser aplicadas a las curvas de diseño, a través de relaciones experimentales de la forma general:

$$A_p = C_p^m (1-p)^n \dots\dots\dots (5-A)$$

El procedimiento permite predecir la distribución del depósito de acuerdo al método empírico modificado de las áreas reducidas, el cual es una forma transformada del método descrito anteriormente, mientras que la expresión (3-A) puede expresarse como:

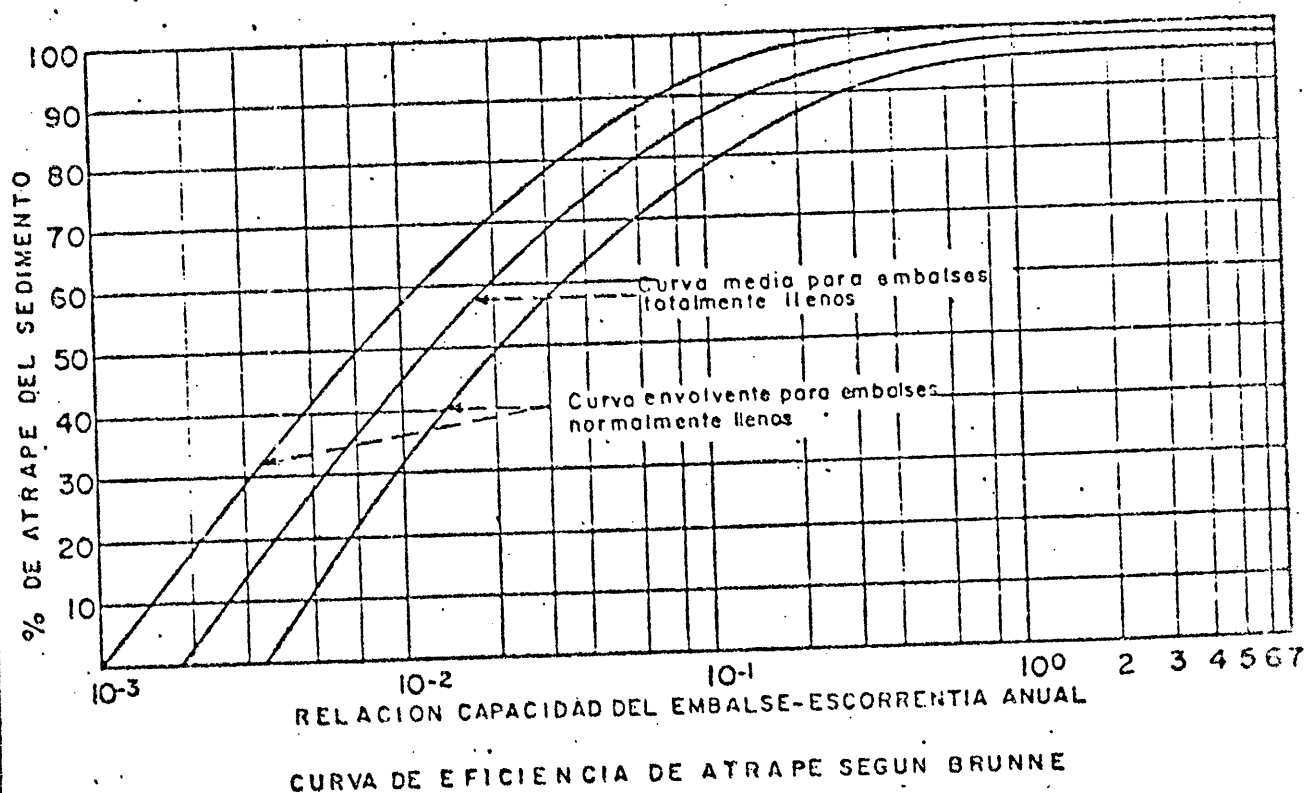
$$V = V_o + K \int_{p_o}^T \frac{a}{A} dp \dots\dots\dots (6-A)$$

GRAFICO Nº 35

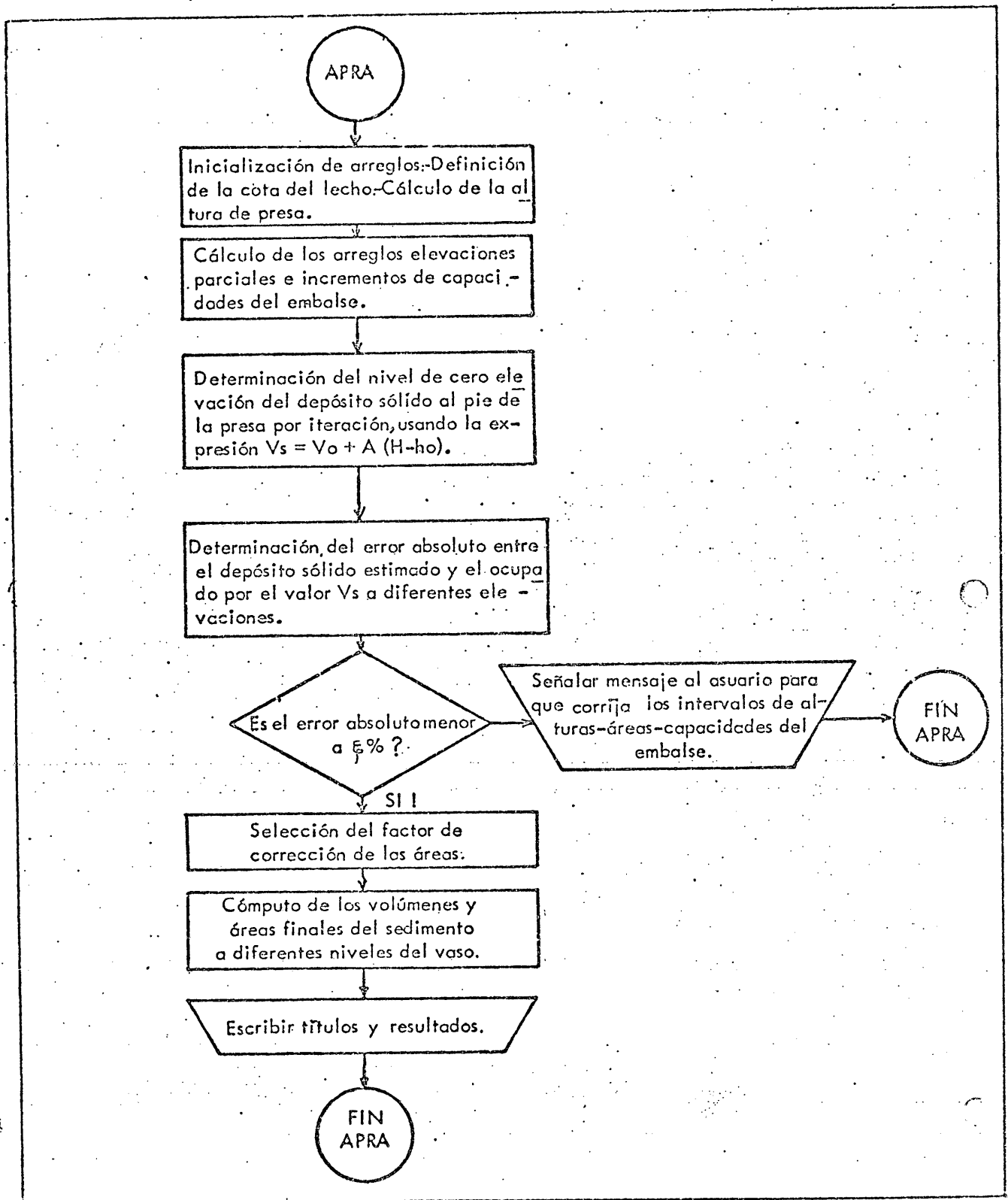


RELACIONES ADIMENSIONALES AREAS-PROFUNDIDADES RELATIVAS EN EMBALSES PATRONES.

GRAFICO Nº 34



ESQUEMA CONCEPTUAL DEL BLOQUE APRA DEL SISTEMA SEDEM



La ecuación (6-A) para un valor definido de K puede indicarse en la forma:

$$V = V_o + KH (1-V_o) \dots\dots\dots(8-A)$$

dado que:

$$V(A) = \int_0^h \frac{a}{A} dh \therefore V(1) = 1,0 \dots\dots\dots(9-A)$$

$$A = Ka_o \dots\dots\dots(10-A)$$

así puede definirse una relación adimensional según las ecuaciones (8-A) y (10-A):

$$h(p) = \frac{1 - V_o}{a_o} = \frac{V - V_o}{H A_o} \dots\dots\dots(11-A)$$

En esta última relación (11-A), los índices (o) indican valores relativos propios del embalse tipo patrón o standard.

Por analogía con (11-A), es factible expresar entonces una función similar aplicable al embalse a ser analizado, considerando el volumen total de sedimentos -S- a ser distribuido:

$$h'(p) = \frac{S - Vy}{H Ay} \dots\dots\dots(12-A)$$

Representando a escala semi-logarítmica estas relaciones (hp-h'p), se logra determinar el nivel del depósito sólido al pie de la presa, usando el punto de intersección de ambas gráficas, (curva patrón y distribución del depósito sólido en el embalse a analizar), al cual corresponde una altura relativa fija h:

$$h = p_o H \dots\dots\dots(13-A)$$

Partiendo de esta elevación se determinan las áreas corregidas y volúmenes hasta distribuir el aporte sólido estimado, con un error permisible que en este caso se ha fijado en 1,5%. La expresión para evaluar los volúmenes entre dos curvas de nivel en el depósito sólido es el de las áreas promedios, que se expresa en la forma:

$$\Delta V = \left[\frac{A_i + A_{i+1}}{2} \right] \Delta h \dots\dots\dots (14-A)$$

donde Δh representa el incremento de elevación entre los sucesivos niveles h_i y $h_{(i+1)}$.

La relación entre los volúmenes $V(p)$ y áreas relativas $A(p)$, las profundidades relativas $p = y/H$ del depósito sólido, pueden expresarse según las formas analíticas:

$$V(p) = \frac{1}{p^{(m+1, n+1)}} \int_0^p p^m (1-p)^n dp \dots\dots\dots (15-A)$$

$$A(p) = \frac{p^m (1-p)^n}{B(m+1, n+1)} = C p^m (1-p)^n \dots\dots\dots (16-A)$$

que nos recuerdan del cálculo integral a las funciones Gamma y Beta - $\Gamma(K)$, $\beta(p, q)$ - cuyas estructuras, interrelaciones y características fundamentales se dan a continuación:

$$\Gamma(K) = \int_0^\infty x^{K-1} e^{-x} dx; (K > 0) \dots\dots\dots (17-A)$$

$$\Gamma(K+1) = K!; K! = K(K-1)(K-2) \dots\dots\dots (3)(2)(1) \dots\dots\dots (18-A)$$

$$\int_0^\infty x^K e^{-sx} dx = \frac{\Gamma(K+1)}{s^{K+1}} \quad (s > 0) \dots\dots\dots (19-A)$$

$$\text{verificándose que: } \Gamma(K+1) = K \Gamma(K) \dots\dots\dots (20-A)$$

$$\text{Además: } \beta(p, q) = \int_0^1 x^{p-1} (1-x)^{q-1} dx \dots\dots\dots (21-A)$$

siendo: $(p > 0; q > 0)$

$$\phi(p, q) = \frac{\Gamma(p) \Gamma(q)}{\Gamma(p+q)} \dots\dots\dots (22-A)$$

En términos de esta función y de los coeficientes m y n deducidos estadísticamente de mediciones en prototipos usando la técnica de los mínimos cuadrados, han podido establecerse cuatro tipos patrones de vasos de embalses, cuya clasificación se hace indispensable para distribuir apropiadamente el depósito sólido en el reservorio.

Las ecuaciones que identifican a los embalses patrones son:

Expresión analítica	Valor de m	Embalse tipo
$A = 5.047 p^{1.85} (1-p)^{0.36}$	1 - 1,5	I (23-A)
$A = 2.487 p^{0.57} (1-p)^{0.41}$	1,2 - 2,5	II (24-A)
$A = 16,97 p^{1.15} (1-p)^{0.32}$	2,5 - 3,5	III (25-A)
$A = 1,486 p^{-0.25} (1-p)^{1.34}$	4,5 - 3,5	IV (26-A)

En algunos casos la identificación de los embalses y su clasificación, se asocian a denominaciones fisiográficas, que en modo alguno guardan relación con la identificación formal con la cual se les identifica. La configuración de estas relaciones se muestran en el Gráfico No. 35.

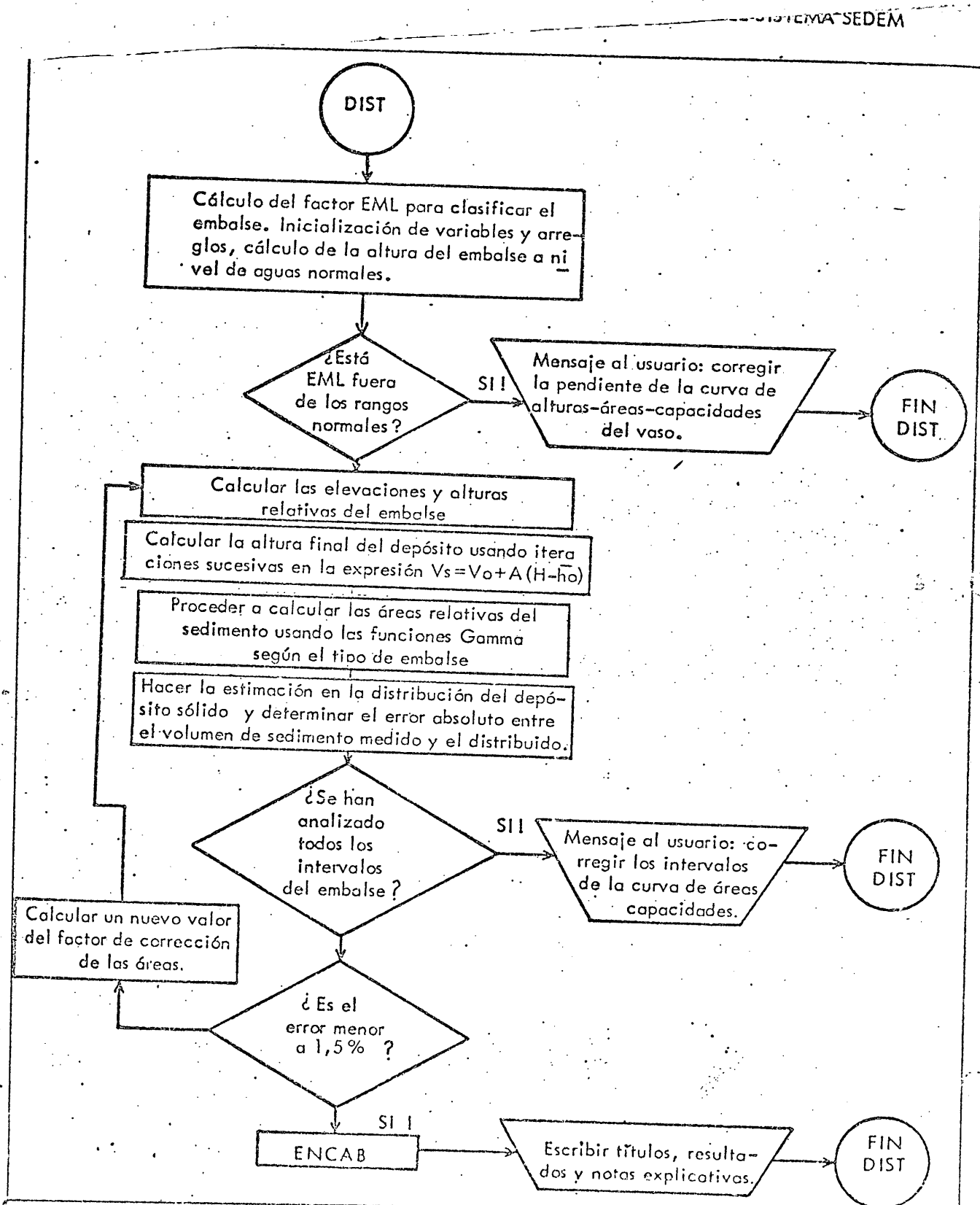


GRAFICO Nº 38

ESQUEMA CONCEPTUAL SIMPLIFICADO DEL BLOQUE DIST DEL SISTEMA SEDEM

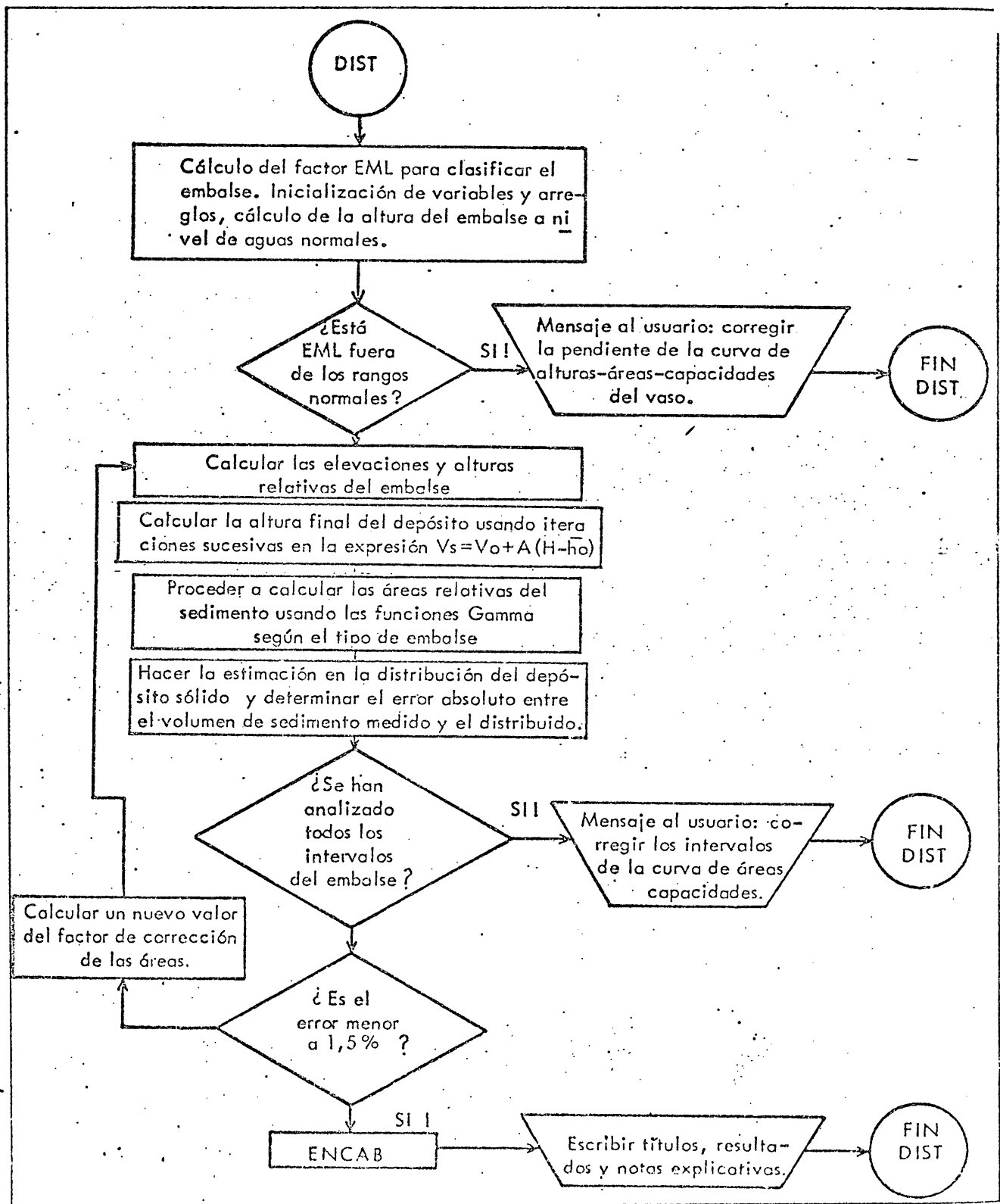


TABLA No. 12

MARN/HIDROLOGIA
DEPARTAMENTO DE
INV. HIDCLIM.

NOMBRE DEL EMBALSE: VISTA ALEGRE

CAPACIDAD DEL EMBALSE = 50.0 MILLONES DE M³
 ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL = 40 MILLONES DE M³
 INCREMENTOS DE LA CAPACIDAD CONSIDERADOS = 6.3 MILLONES DE M³
 ACARREO MEDIO ANUAL = 0.22 MILLONES DE TONELADAS
 PESO UNITARIO DEL SEDIMENTO = 0.900 TON/M³

CALCULO DE LA EFICIENCIA DE ATRAPE DEL SEDIMENTO USANDO EL METODO DE BRUNNE

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	50.0	1.250	98.0	98.0	0.22	0.24	26.1
2	43.8	1.094	98.0	98.0	0.22	0.24	26.1
3	37.5	0.938	98.0	98.0	0.22	0.24	26.1
4	31.3	0.781	97.9	97.6	0.21	0.24	26.2
5	25.0	0.625	97.3	96.9	0.21	0.24	26.4
6	18.8	0.469	96.5	95.5	0.21	0.23	26.8
7	12.5	0.313	94.6	92.8	0.20	0.23	27.6
8	6.3	0.156	90.9				

DURACION TOTAL ESTIMADA..... 185.3 AÑOS

EL PESO UNITARIO PROMEDIO DEL SEDIMENTO AL PERIODO DE 100 AÑOS SERA
 DE..... 1.025 TON/M³

NOTAS EXPLICATIVAS:

COLUMNA(1): NUMERO DE INTERVALOS EN QUE SE SUBDIVIDE LA CAPACIDAD
 COLUMNA(2): FRACCIONES DE LA CAPACIDAD EN MILLONES DE M³
 COLUMNA(3): RELACION CAPACIDAD/ESCURRIMIENTO ANUAL
 COLUMNA(4): EFICIENCIA DE ATRAPE AL VOLUMEN INDICADO (%)
 COLUMNA(5): EFICIENCIA DE ATRAPE PROMEDIO A CADA INTERVALO DE CAPACIDAD EN (%)
 COLUMNA(6): ATRAPE ANUAL DEL SEDIMENTO EN MILL. DE TONS.
 COLUMNA(7): ATRAPE ANUAL DEL SEDIMENTO EN MILL. DE M³
 COLUMNA(8): TIEMPO EN AÑOS PARA COLMATARSE CADA FRACCION DE LA CAPACIDAD

Salida del Programa SEDEM. Un ejemplo.

TABLA No. 13

W22N27/HIDROLOGIA
DEPARTAMENTO DE
INV. HICCLIM.

NOMBRE DEL EMBALSE: VISTA ALEGRE

DISTRIBUCION DEL DEPCITO SOLIDO.- CALCULOS CON EL METODO DE LAS AREAS INCREMENTADAS

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	82.00								
2	89.00	7.00	2.10	70.00	225.00	2.10	2.10		
3	90.00	8.00	3.50	150.00	225.00	3.50	3.50		
4	90.50	8.50	5.50	210.00	225.00	5.50	5.50		
5	90.75	8.75	6.50	225.00	225.00	6.50	6.50		
6	91.70	9.70	7.50	250.00	225.00	2.14	8.64	25.00	1.14
7	93.00	11.00	13.00	350.00	225.00	2.93	11.56	125.00	1.44
8	95.00	13.00	20.00	550.00	225.00	4.50	16.06	325.00	3.94
9	96.00	14.00	25.00	620.00	225.00	2.25	18.31	395.00	6.69
10	97.00	15.00	34.00	800.00	225.00	2.25	20.56	575.00	13.44
11	98.50	16.50	49.00	980.00	225.00	3.38	23.94	755.00	25.06

NOTAS EXPLICATIVAS:

COLUMNA(1): INTERVALOS EN QUE SE SUBDIVIDE LA CURVA DE ALTURAS-AREAS-CAPACIDADES
COLUMNA(2): COTAS EN M. DE CADA NIVEL DEL VASO
COLUMNA(3): ELEVACIONES EN METROS MEDIDAS DESDE EL FONDO DEL VALLE AL PIE DE LA PRESA (M)
COLUMNA(4): CAPAS DEL PERIODO EN HAS. A LOS NIVELES INDICADOS
COLUMNA(5): AREAS DE COBERTURA A LA CUAL CORRESPONDE UNA ELEVACION EN MILLONES DE M².
COLUMNA(6): VOLUMENES ACUMULADOS DEL DEPOSITO A CADA INTERVALO EN MILLONES DE M³.
COLUMNA(7): VOLUMENES REVISADOS AL FINAL DEL PERIODO CONSIDERADO EN HAS.
COLUMNA(8): VOLUMENES REVISADOS AL FINAL DEL PERIODO CONSIDERADO EN M³.
COLUMNA(9): VOLUMENES REVISADOS AL FINAL DEL PERIODO CONSIDERADO EN M³.
COLUMNA(10): VOLUMENES REVISADOS AL FINAL DEL PERIODO CONSIDERADO EN M³.
LA ALTURA FINAL DEL DEPOSITO SOLIDO AL PIE DE LA PRESA SE HA OBTENIDO DE LA ECUACION
VS=V+(CUT-H) DESPUES DE 5 ITERACIONES
EL ERROR DE COMPUTO PARA EL DEPOSITO SOLIDO DISTRIBUIDO RESPECTO AL CALCULO ES DE .021

Salida del Programa SEDM. Un ejemplo.

OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL
STATE OF NEW YORK

DEPOSITO SOLIDO AL FINAL DEL PERIODO CONSIDERADO = 24.44 MILLS. DE 1943

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
22.00									
80.00	7.00	70.00	2.10	0.42	1.22	194.48	8.19		
90.00	8.00	150.00	3.50	0.48	1.25	200.51	10.16		
90.50	8.50	210.00	5.50	0.52	1.27	202.46	11.17	7.54	
90.75	8.75	225.00	6.50	0.53	1.27	203.17	11.68	21.83	
91.70	9.70	250.00	7.50	0.55	1.28	204.22	13.61	45.78	
93.00	11.00	350.00	13.00	0.67	1.26	201.12	16.25	148.88	
95.00	13.00	550.00	20.00	0.79	1.15	183.79	20.09	366.21	
96.00	14.00	620.00	25.00	0.85	1.04	167.02	21.85	452.98	3.15
97.00	15.00	800.00	34.00	0.91	0.88	140.85	23.39	659.11	10.61
97.50	16.50	980.00	49.00	1.00	0.00	0.00	24.44	980.00	24.56

NOTAS EXPLICATIVAS:
 COLUMNA (1): COTAS EN M.S.N.M PARA CADA NIVEL DEL ENVASE
 COLUMNA (2): ELEVACION EN METROS MEDIDOS SOBRE EL FONDO DEL VALLE AL PIE DE LA PRESA
 COLUMNA (3): ALTURAS RELATIVAS POR LA CURVA DE AREAS CAPACIDADES
 COLUMNA (4): ALTURAS RELATIVAS PARA EL ENVASE REPERIDAS A LA ALTURA DE LA PRESA EN (%)
 COLUMNA (5): ALTURAS RELATIVAS PARA EL ENVASE PATRON SELECCIONAD EN (%).
 COLUMNA (6): FACTOR DE CORRECCION DE LAS AREAS COLUMNAS
 COLUMNA (7): FACTOR DE CORRECCION DEL SEPTIENTO ACUMULADO A CADA COS. ALTURAS CONSECUTIVAS, EVALUADOS POR EL METODO DE
 COLUMNA (8): VOLUMEN ENTRE CADA INTERVALO DE NIVEL DADOS EN MILL. DE M³
 COLUMNA (9): DIFERENCIA ENTRE COL (3) Y COL (7) EN P.S.
 COLUMNA (10): DIFERENCIA ENTRE COL (4) Y COL (8) EN P.S. DE M³.
 LA ALTURA FINAL DEL DEPOSITO SOLIDO AL PIE DE LA PRESA SERA DE 91.70 M.S.N.M.
 LOS RESULTADOS FINALES SE HAN OBTENIDO DESPUES DE 6 ITERACIONES
 EL ERROR DE CUMULO EN EL CALCULO DE LA DISTRIBUCION DEL DEPOSITO SOLIDO ES DE .000

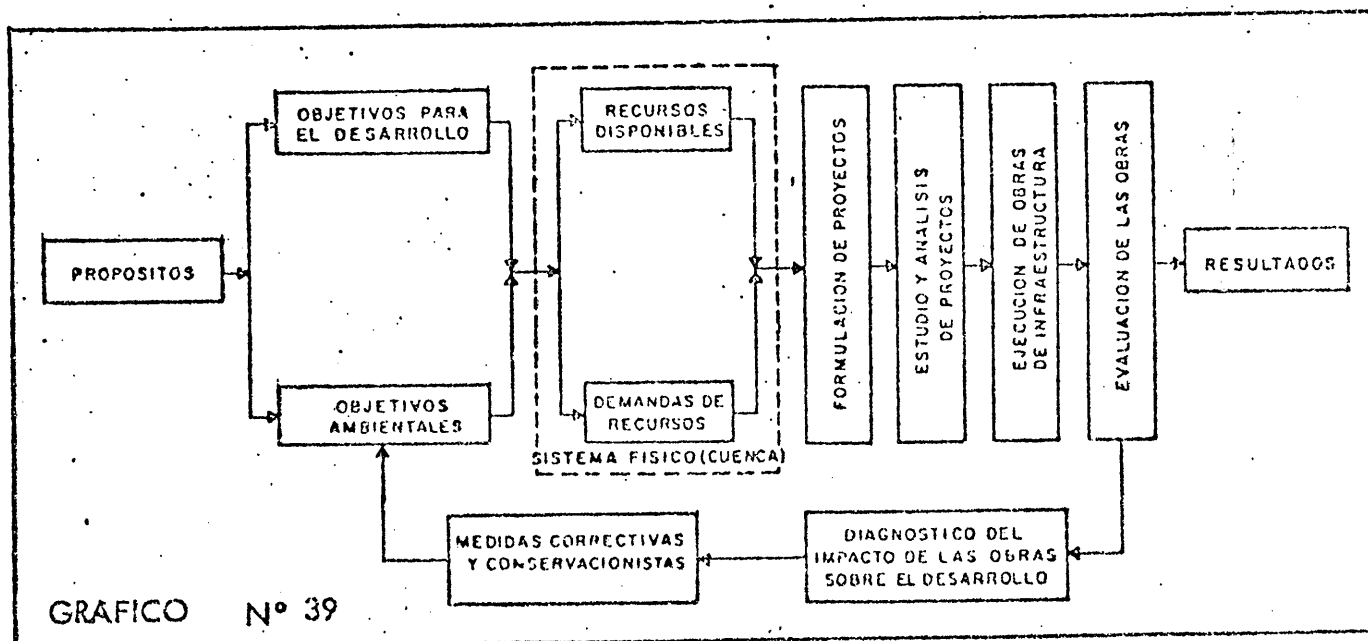
APENDICE B

B. ESTRUCTURA DE UN MODELO OPERACIONAL PARA EL MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Después de considerar diversos aspectos relacionados con las características fisiográficas y las limitaciones impuestas por el carácter, disponibilidad y restricciones para el uso y mantenimiento de los recursos renovables de la cuenca, se hace necesario definir metodologías orientadas a diagnosticar, tanto a corto como a largo plazo, el impacto e influencia de las obras hidráulicas sobre el régimen hidrológico y fluvial, así como los efectos que sobre el uso de estos recursos determine la actividad humana y el desarrollo futuro dentro de la región. Cuando se piensa en el número de embalses de la cuenca de Unare e interrelación compleja de ellos entre sí con otros factores fisiográficos, debe reconocerse que el manejo y uso eficiente, principalmente del agua en la cuenca, no será una tarea fácil.

El uso múltiple que se asignará a dicho recurso y las diversas modalidades de aprovechamiento, de otra parte, hacen prever cambios no predictibles, pero sin duda de mayor impacto ambiental en el futuro, que las observadas hasta ahora. Con el propósito de destacar las consecuencias de los diferentes procesos que deben contemplarse en la planificación de los recursos naturales renovables en cuencas como la de Unare, con las condiciones ya mencionadas, se presenta en el Gráfico No. 39 una estructura secuencial, donde los objetivos de naturaleza ambiental deben representar el punto de enlace entre las medidas de uso de los recursos y la influencia de las obras de infraestructura sobre el medio.

SECUENCIA DE OPERACIONES EN EL DIAGNOSTICO Y MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES EN UNA CUENCA HIDROLOGICA - UNA PERSPECTIVA



Lo anterior es útil para comprender en base a las condiciones observadas, lo relativo a requerimientos de información básica, evaluación y estado natural de los recursos, estado de desarrollo de los proyectos, cuáles áreas de recabación de información deben ser reforzadas y qué criterios deben ser tomados como relevantes al planificarse el uso y administración, tanto a corto como a largo plazo. En el análisis el mayor énfasis se ha puesto en los recursos hídricos y en obras que tienen relación con su control y aprovechamiento (embalses, lagunas, canales). Es de destacar que algunas etapas iniciales del anterior esquema de manejo, no están lo suficientemente documentadas, de aquí la necesidad de obtener, así como lograr, un análisis de las consecuencias del manejo progresivo según el transcurso de la operación, mediante la elaboración de diagnósticos periódicos. De este modo se podrá detectar y minimizar la acción de efectos detrimentales con lo cual se mantendrían controles permanentes sobre cambios indeseables que contribuyan a un deterioro del ambiente ecológico.

Importantes objetivos de carácter ambiental en la cuenca de Unare a ser perseguidos dentro de tal esquema, pueden sintetizarse en la forma siguiente:

- a. Lograr el mantenimiento de la calidad físico-química y biológica de las aguas en condiciones apropiadas para usos múltiples: riego, consumo, industrial, recreacional y otros.
- b. Preservar y favorecer el fomento de la fauna silvestre e ictiofauna en los cuerpos de agua.
- c. Preservar los bosques y la estabilidad de los materiales aluviales formadores de las planicies fluviales.
- d. Mantener y regular la escorrentía y el transporte sólido en los sistemas de canales y embalses.
- e. Reducir la erosión y la denudación fluvial debido a la intensificación de labores de deforestaciones, quemas y el riego en suelos de la cuenca.
- f. Reducir a límites tolerables y programar el uso de pesticidas y fertilizantes bajo esquemas basados en criterios técnicos que eviten daños a las aguas, el suelo y a la vida acuática.
- g. Reducir los daños creados por inundaciones periódicas en las zonas bajas de la cuenca.

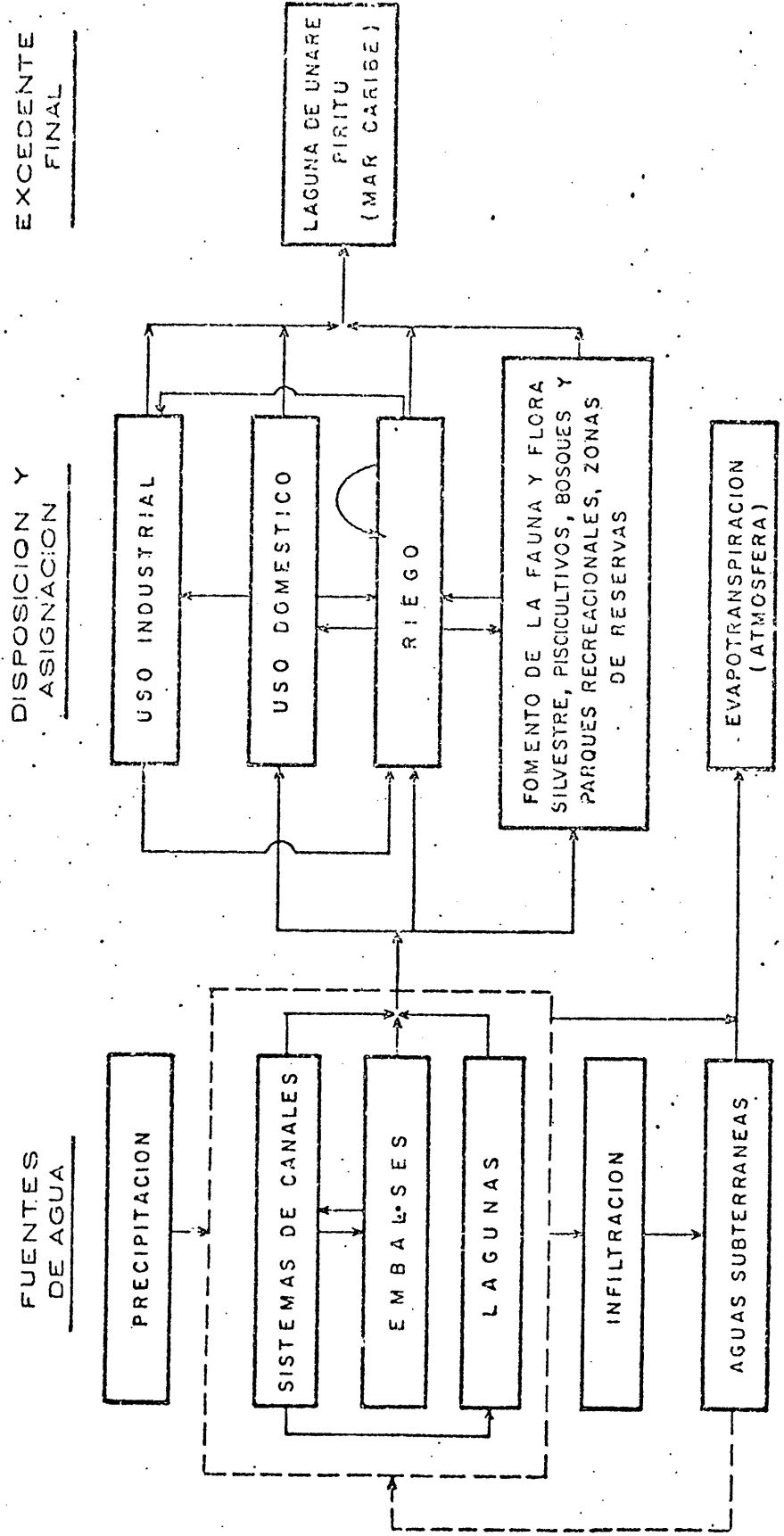
- h. Mantener un apropiado equilibrio en las características físico-químicas de las aguas, ambientales y ecológicas en los sitios finales de disposición (zonas costeras, albúferas de Unare-Píritu), de modo que se preserven las condiciones naturales.
- i. Hacer un uso y clasificación de las tierras adecuándolas a fines específicos según sus aptitudes y condiciones edáfico-forestales.
- j. Visualizar esquemas de control de la actividad humana apropiada al carácter de las zonas y regiones, dando prioridad a aquellos sectores críticos e inestables.
- k. Lograr un efectivo control de la explotación no dirigida de bosques en áreas y zonas de reserva forestal (subcuenca de Tamaraco y zonas de alto relieve en la parte Norte de la cuenca).
- l. Normar el uso del agua según criterios que eviten litigios y conflictos entre los usuarios o entre éstos y otros organismos públicos.
- m. Finalmente, incentivar la adopción de medidas de índole socio-económicas y culturales, que contribuyan a mejorar las condiciones de vida del campesinado de la región y permita incorporarlos activamente al mantenimiento y conservación de los recursos naturales. (Control de fuegos, repoblación forestal, manejo de suelos y sabanas, asesoría técnica agropecuaria, educación etc.).

Lo anterior lleva a la necesidad de concebir esquemas operacionales dentro de la cuenca, donde estos recursos sean considerados como elementos relacionados y donde el uso inarmónico de otros, puede operar en un sentido irreversible y detrimental para la preservación de uno o varios de ellos.

Destacar la asociación de los diferentes cuerpos de agua con los propósitos de uso del recurso y su transferencia a través del sistema de transporte-almacenaje, es importante a este nivel. El Gráfico No. 40 muestra la interrelación entre las diferentes fuentes de agua y el patrón no cuantitativo de asignación a diferentes propósitos, así como el destino final del excedente reusado dentro del sistema fluvial (embalses, canales), el cual se dispone para alimentar las lagunas de Unare-Píritu. Tal sistema de aprovechamiento debe conceptuarse como de re-uso secuencial, ésto es uno en el cual las aguas efluentes de un sector son aprovechadas de nuevo por otro y por lo tanto, la mayor preocupación debe orientarse a satisfacer restricciones impuestas por los costos de suministro, el control de la calidad del recurso y la disponibilidad del mismo.

GRAFICO Nº 40

FUENTES DE SUMINISTROS Y DESTINOS DE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL
Y SUBSUPERFICIAL EN LA CUENCA DE UNARE - VENEZUELA CENTRAL



La jerarquización de procesos-actividades a ser consideradas dentro de este esquema integrado para el control, manejo y operación de los recursos naturales renovables, que tome en cuenta sus disposiciones espaciales y las restricciones de uso causadas por el deterioro de la calidad del agua como recurso relevante, puede ser concebido.

Es factible que, con un apropiado y eficiente manejo de este recurso, los restantes no experimenten efectos detrimentales y de ello ocurrir a través de su control de calidad, pueden ser rápidamente diagnosticados y controlados eficientemente.

El Gráfico No. 41 ilustra en forma esquemática un diagrama o diseño modular estructurado de cada uno de los grandes procesos que han de ser considerados en el modelo operacional, anexándose las Tablas SEPS* donde se especifica en forma sucinta, el contenido y actividades a ser contempladas en cada módulo. Tabla No. 14.

La descripción de cada proceso asociado al uso específico, diagnóstico de la calidad del agua y conservación de estructuras hidráulico-fluviales, puede ser sintetizada según el esquema conceptual que muestra el Gráfico No. 41.

La estructura modular ha de iniciarse con el diagnóstico del almacenaje en el tramo o sector seleccionado, usando como datos de entrada los datos hidrometeorológicos disponibles o simulados (a través de la generación de trazas hidrometeorológicas), además de las características geométricas del vaso (alturas-áreas-capacidades), y del canal de escorrentía (MOVEN). Los mecanismos que controlan el desarrollo de la biota (BIOUSE) en los embalses (en caso de estar presentes en el tramo) y la comparación con normas standard de calidad (contaminantes, zooplankton, algas, benthic, etc.), debe contemplarse, aunque ello no es necesariamente tan importante en una etapa preliminar, excepto en los más antiguos embalses de la cuenca y es menos importante en los canales. La flexibilidad del diseño estructurado, permite descartarlo cuando se desee.

Un aspecto de importancia es lo concerniente al balance de escorrentía-transporte sólido en los canales (BALTRA, cuando se consideren puntos de aprovechamiento sobre ellos, los cuales pueden aceptar suministros tanto de los suelos marginales (acción del riego) en planicies fluviales, desde los embalses situados aguas arriba, trasbase desde subcuencas adyacentes o desde los propios bordes del canal, además de extracciones (tomas, derivaciones, etc.).

* SEPS: Secuencia de Entradas-Procesos-Salidas.

ESQUEMA ESTRUCTURADO DE UN MODELO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA, CONSERVACION DE LOS CANALES, OPERACION Y DIAGNOSTICO DE LA EVOLUCION DE LOS EMBALSES.

CUENCA DE UHARE, VENEZUELA

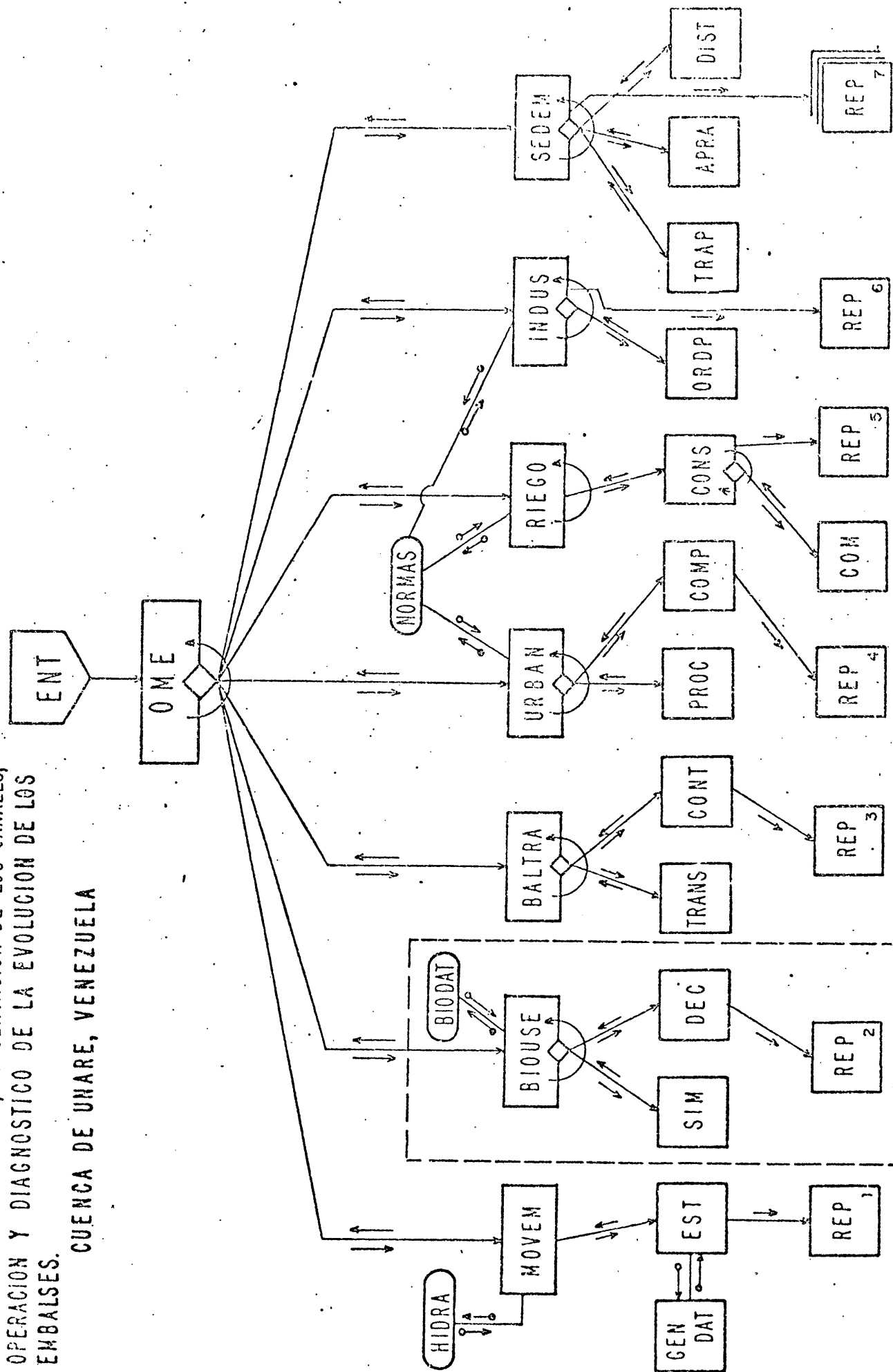
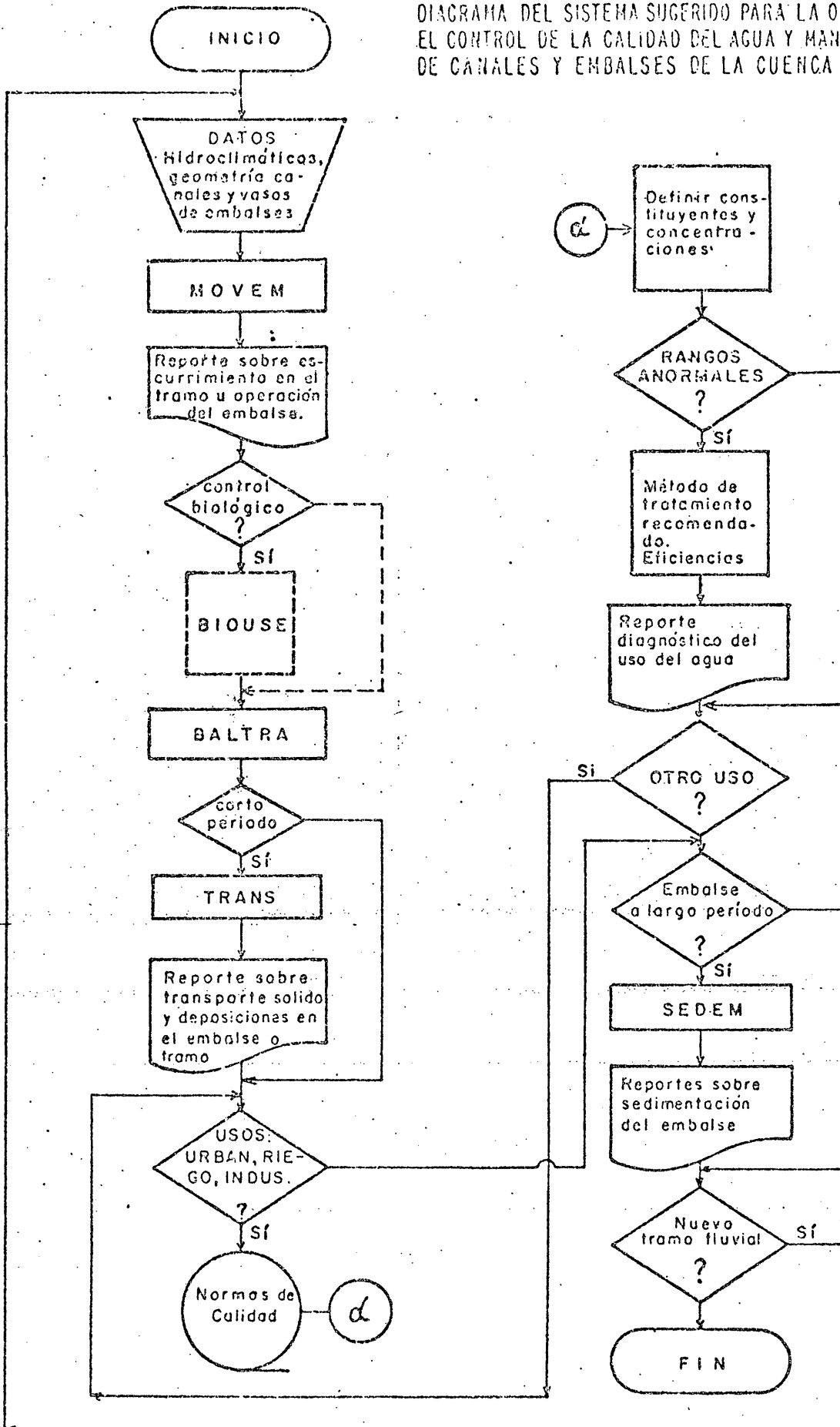


TABLA N° 14

CONTENIDO Y TIPOS DE ENTRADAS-PROCESOS-SALIDAS (SEPS) DEL MODELO PROPUESTO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD Y EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA EN LOS EMBALSES Y CANALES DE LA CUENCA DE UINARE

ENTRADAS	PROCESOS	SALIDAS
MOVEM: Datos hidrológicos (caudales, evaporación, precipitación, etc.), curvas de alturas-áreas-capacidades de los embalses, curvas de entrada-extracción a través de conductos-aliviaderos, pérdidas en los embalses. BIOUSE: Concentración de nutrientes, hidroquímica de las aguas, actividad biológica. Radiación, termicidad. Tipo de flora acuática, benthic, requerimiento de nutrientes, DO, CO₂. URBAN: Calidad físico-química de las aguas, tasas de suministro de poluentes, poblaciones servidas, caudales, coliformes. RIEGO: Calidad físico-química de las muestras de aguas; física del suelo; requerimientos de cultivos; nutrientes, insecticidas, pesticidas, áreas bajo riego, flujos de retorno, calidad y tipo de contaminantes. INDUS: Tipos y concentraciones de contaminantes industriales, consumo de agua, físico-química de las aguas. Sólidos solubles y suspendidos. BALTRA: Gastos sólidos-líquidos, características del suelo y sedimentos. Geometría de canales; áreas intervenidas, pendientes. SEDEM: Acorreos anuales, período de análisis, características del sedimento, clasificación de los embalses, intervalos de capacidad a considerarse. BIODATA; HIDRA; NORMAS. REP. 1, 2, 3, ...	Simulación hidrológica. Métodos estadísticos para simular el comportamiento de embalses múltiples. Tránsito de avenidas. Ratas de crecimiento y decaimiento orgánico (algas, bacterias, benthic, etc.); microorganismos, eutroficación de los embalses, deposición en el fondo. Comparación con normas de calidad, biodegradación, distribución de DO y DQO. Disolución y transporte de constituyentes; concentración de iones (Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, etc.). Movilidad de fertilizantes (flujos superficiales y subterráneos). Clasificación de las aguas y comparación con normas de calidad. Toxicidad y consumo de oxígeno (DQO), balances térmicos, comparación con normas de calidad. Deposición-transporte sólido en los canales. Erosión del suelo, erosión y tasas de suministro. Erosión y deposición en las planicies. Atrape del sedimento y vida útil de los embalses. Distribución del sedimento y cambio del depósito sólido a través del tiempo de operación. Clasificación de los embalses. Archivos que contienen información sobre las normas a ser usadas por cada bloque como factor de control de la operación de los embalses, calidad biológica y físico-química de las aguas. Son tablas y reportes con las salidas especificadas de cada bloque arriba indicado.	Predicción de sequías, niveles críticos en los embalses, series hidrológicas simuladas. Escorrentía en los canales. Acoplamiento de embalses-extracciones. Nutrientes, indicadores biológicos y químicos de contaminación (BOD, TDS, otros). Cambios en constituyentes de las aguas. Crecimiento de microorganismos. Concentraciones de pesticidas y fertilizantes. Definir concentraciones críticas de contaminantes. Reportes diagnósticos. Distribución de DO en los canales. TDS, turbiedad, concentraciones críticas de constituyentes, comparación con standard y normas de calidad. Salinización. Caudales de dilución. Definir concentraciones críticas de contaminantes industriales; normas y standard. Suministro sólido a los embalses, definición de tramos críticos en los canales. Agradación de lechos. Transporte sólido en los canales. Duración del embalse, evolución del depósito sólido. Eficiencias de atrape del sedimento. Pesos unitarios del sedimento. Nuevas curvas de alturas-áreas-capacidades. — o — Véase tablas del sub-sistema SEDEM.

DIAGRAMA DEL SISTEMA SUGERIDO PARA LA OPERACION Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA Y MANTENIMIENTO DE CANALES Y EMBALSES DE LA CUENCA DE UNARE.



En atención a las prioridades asignadas al uso del agua (URBAN, RIEGO, INDUS), se ha de considerar el efecto y alternativas del uso urbano, riego e industrial; supuesto a realizarse en cada caso un análisis de los constituyentes y limitaciones en el uso de las aguas y su comparación con normas que conduzcan a definir valores críticos, produciéndose reportes diagnósticos a fin de definir posibilidades de uso y recomendaciones de medidas correctivas, caso de que se excedan los niveles críticos de los constituyentes del agua. En una etapa de diagnóstico se pueden usar criterios restrictivos respecto a algunos constituyentes (BOD, DQO, TDS, MPN) solamente, los cuales permitan fijar condiciones límites respecto al grado de contaminación de las aguas, condicionado por la presencia de otros constituyentes.

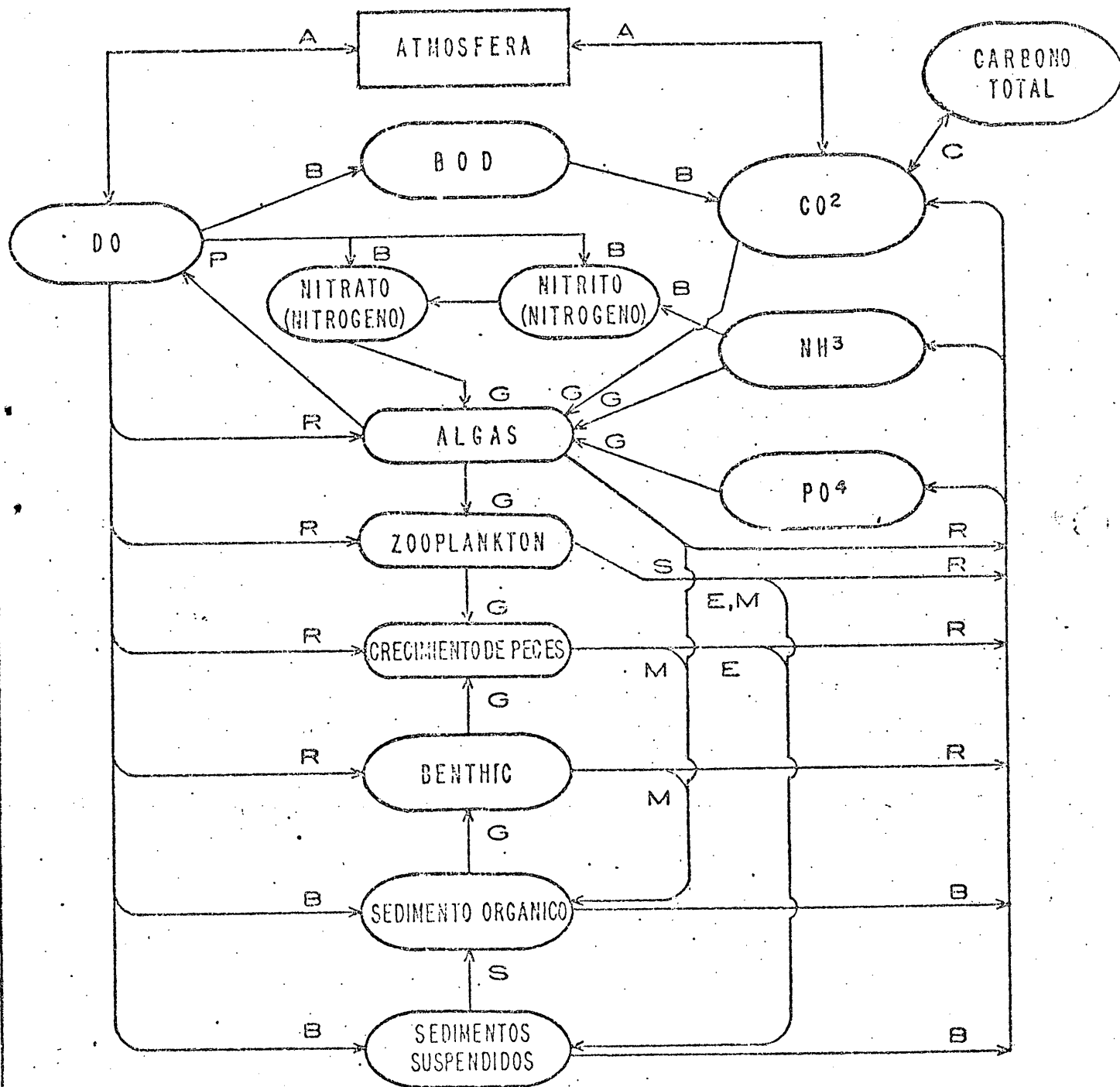
Cuando se consideren análisis basados en cortos períodos de tiempo, debe tomarse en cuenta el tránsito del sedimento a través de los canales y los embalses, lo cual ayude a diagnosticar procesos deposicionales, erosión, incrementos del atrape del sedimento por los embalses o su interacción entre los canales-embalses (TRANS).

Finalmente, en aquellos casos justificados a los fines de planificación, se sugiere la realización periódica de un análisis de la disposición y evolución del depósito sólido con miras a establecer la influencia en el tiempo (largo plazo) del sedimento sobre la capacidad del almacenamiento y la distribución del depósito sólido en los embalses.

Se hace necesario e indispensable para alcanzar este objetivo, la realización de programas sistemáticos de muestreos y mediciones en los canales naturales y embalses que ayuden a través del modelo operacional, a fijar criterios y limitaciones del uso del agua con diferentes propósitos dentro de la cuenca. Esta es una actividad aún no sistemática que debe involucrar a los distintos organismos oficiales (MARNR, MSAS, INOS) y privados (especialmente las industrias), de acuerdo a las facilidades y medio con que cuentan dichas dependencias. El mejoramiento y mayor disponibilidad de datos con el tiempo, servirá para realimentar los archivos que almacenen la información respecto a las normas de calidad hidrológicas (BIODATA, NORMAS, HIDRATA), lo cual haría más confiables y precisos los diagnósticos que permitan tomar futuras decisiones operacionales, tales como caudales de extracción desde los embalses, gastos eficientes de dilución (DO, DQO, etc.), caudales competentes en los canales y otros.

Para ilustrar en detalle la configuración de algunos de estos bloques a un grado mayor de descomposición, se muestra en el Gráfico No. 43 la estructura de un modelo propuesto para definir el comportamiento del sistema ecológico respecto al medio fluvial y el cual podría corresponder al bloque

GRAFICO Nº 43
INTER-RELACION ENTRE CONSTITUYENTES
DEL AGUA Y ECOLOGIA
(MODELO DEL CUERPO DE INGENIEROS)



PROCESO INVOLUCRADO

- | | |
|---------------------------|------------------|
| A - AIREACION | P - FOTOSINTESIS |
| B - DECAIMIENTO BACTERIAL | R - RESPIRACION |
| C - EQUILIBRIO QUIMICO | S - ASENTAMIENTO |
| E - EXCRECION | |
| M - MUERTE | |
| G - CRECIMIENTO | |

o subsistema BIOUSE. En este caso, las algas e hidrófitas representan un importante eslabón de este esquema, estando ligadas a la presencia de diversos nutrientes a través de complejos y múltiples procesos bio y físico-químicos. Se ha reconocido la importancia de estos organismos en los embalses y otros almacenamientos superficiales de la cuenca del Unare, por lo tanto, gran atención debe darse a este aspecto, con el propósito de lograr un mejor conocimiento de su desarrollo y sobre los factores modificadores de su proliferación, con lo cual pueda lograrse un control que minimice su efecto sobre la calidad del agua y lleve a lograr eficientemente la preservación futura de las capacidades útiles de los embalses.

Dependiendo de la forma como se produzca la conexión entre los embalses y canales y otros elementos del sistema físico, así como de los periodos de tiempo utilizados para el proceso de simulación, (base semanal o mensual), algunos bloques pueden ser descartados. Ello también en una fase inicial se justifica por la carencia de información básica, especialmente topográfica e hidroclimática, siendo evidente que dada la disparidad entre la abundancia y deficiencia del agua entre los periodos lluviosos y secos, la variabilidad y persistencia de los procesos hidrometeorológicos, así como el número de embalses a ser considerados dentro de la cuenca, un esquema como el propuesto, que considere los distintos aspectos vinculados al uso de manejo del agua y especialmente que los contemple de una manera interrelacionada, es lo más aconsejable de acometer.

· REFERENCIAS

1. BISHOP, B. y HENDRICKS, D., (1971), "Water reuse systems analysis", Proceedings of ASCE, en Journal of Sanitary Engineering Division.
2. BORLAND, W., (1971), Reservoir sedimentation. River mechanics, vol.II. Chapter 29. Fort Collins: Edited by Shen. Colorado State Univ.
3. COPLANARH, (1969), "Unare-Neverí", Inventario nacional de tierras. Caracas: Rep. de Venezuela, Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos.
4. CARTAYA, H., (1974), Estudio hidrológico de la cuenca del río Unare en Puente Zaraza. Caracas: M.O.P., Dir. Grl. de Recursos Hidráulicos, División de Hidrología.
5. DYRNESS, C.T., (1965), "Erodability and erosion potential of forest watersheds", en Proceedings of International Symposium on Forest Hydrology. pp. 599-611.
6. ELDRIDGE, E., (1960), Return irrigation water characteristics and effects. U.S. Public Health Service, Region IX.
7. EYLES, R., (1973), "Drainage density representation on Wellington maps". en Journal of Hydrology of New Zealand, vol.12, number 1, pp.7-20.
8. GABALDON, A., POSEWITZ, G. y MONSERRATE, E., (1967), Catálogo de aprovechamientos hidráulicos de la cuenca del río Unare. Caracas: M.O.P., Dir. Grl. de Recursos Hidráulicos, Oficina de Planeamiento.
9. GONZALEZ, G. y KIRK, C., (1969), Estudio agrológico y clasificación de tierras con fines de riego en los valles de los ríos Ipíre y Unare, sectores La Becerra, Zaraza y Onoto. Caracas: M.O.P., Dir. Grl. de Recursos Hidráulicos, División de Edafología.
10. KIJESKI, J., (1964), Estudio agrológico preliminar y de clasificación de tierras con fines de riego del sistema Tamanao, sector El Cigarrón. Caracas: M.O.P., Dir. Grl. de Recursos Hidráulicos, División de Edafología.
11. LOPEZ S., J.L., (1978), Mathematical modeling of sediment deposition in reservoirs. Ph.D. Dissertation. Fort Collins: Department of Civil Engineering, Colorado State University.
12. M.O.P., (1968), Diagnóstico y lineamientos para un plan de aprovechamiento integral de la cuenca del río Unare. Caracas: Dir. Grl. de Recursos Hidráulicos, División de Análisis Económicos.

13. ODRÉMAN, M., (1975), Estudio hidrológico para los embalses de Médano, Guaicál y El Paso. Caracas: M.O.P., Dir. Grl. de Recursos Hidráulicos, División de Hidrología.
14. PEREZ HERNANDEZ, D., (1971), Erosión y sedimentación de la hoya superior del río Unare. M.O.P., Dir. Grl. de Recursos Hidráulicos, División de Hidrología.
15. _____ (1974), "Ideas para el uso y preservación del embalse Playa de Piedra", en Memorias del Primer Foro Sobre la Conservación de la Cuenca del Tamaraco. Valle de La Pascua, Estado Guárico.
16. _____ (1975), Procesos fluviales en la cuenca y sistema del deltaico del río Neverí. Caracas: M.O.P., Dir. Grl. de Recursos Hidráulicos, División de Hidrología.
17. POSEWITZ, G., (1974), Estudio básico para la planificación de los recursos hidráulicos de la región nor-oriental. Caracas: M.O.P., Dir. Grl. de Recursos Hidráulicos, División de Hidrología.
18. SAN JOSE, & MEDINA, E., (1975), Effect of Fire on organic matter production and water balance in a tropical savanna.

IMPRESO EN EL DEPARTAMENTO
DE
REPRODUCCION GRAFICA
DE LA
DIRECCION GENERAL SECTORIAL
DE
PLANIFICACION Y ORDENACION

MINISTERIO DEL AMBIENTE
Y LOS
RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARACAS - VENEZUELA