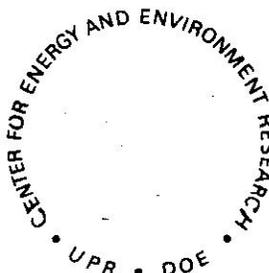
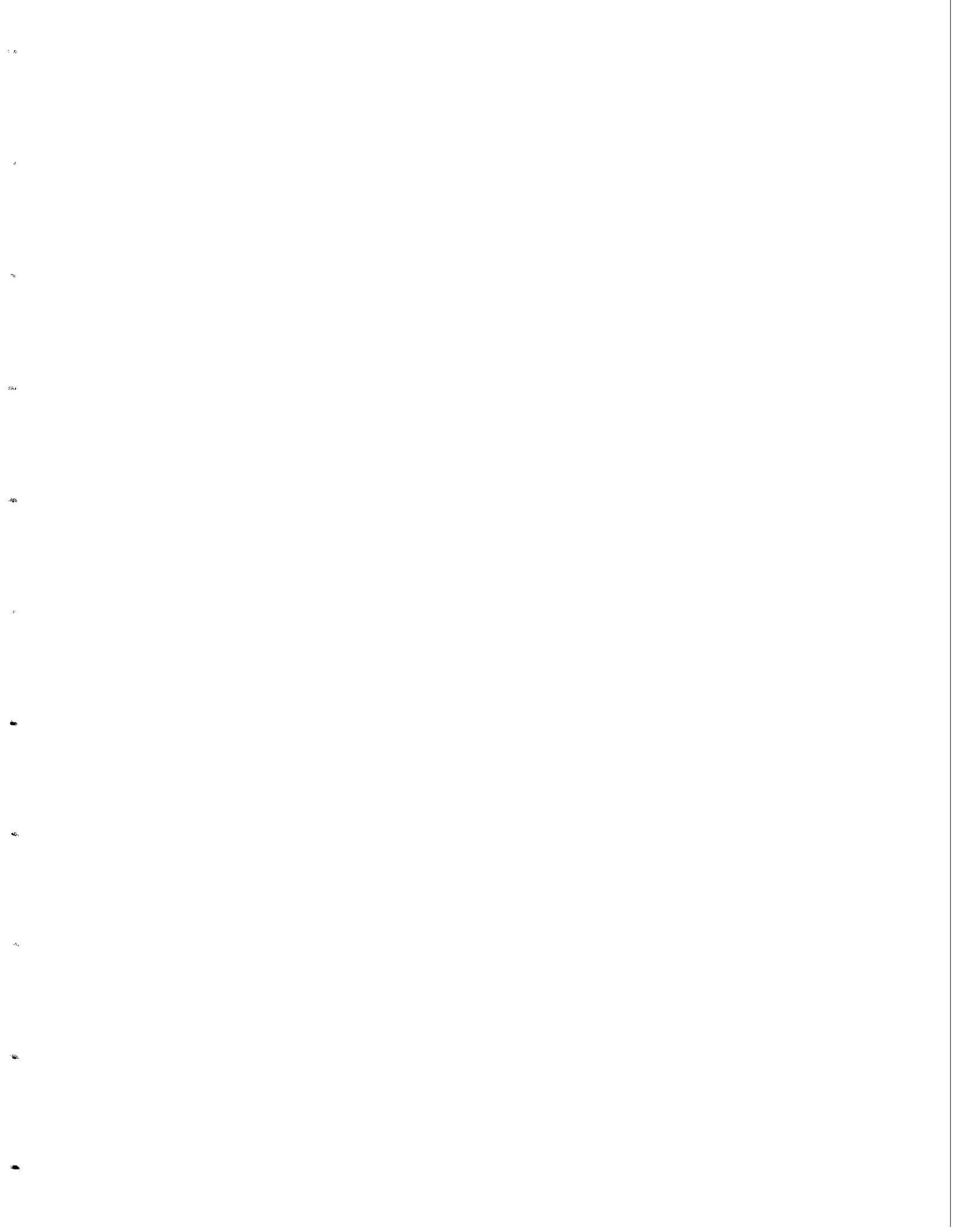


PRODUCTIVIDAD Y CONTENIDO NUTRICIONAL DEL
JACINTO DE AGUA *EICHHORNIA CRASSIPES*
MART (SOLMS), EN RELACION A ALGUNOS
ASPECTOS LIMNOLOGICOS DEL LAGO CARRAIZO,
PUERTO RICO.

Rafael Nevárez y Johnny Villamil



CENTER FOR ENERGY AND ENVIRONMENT RESEARCH
UNIVERSITY OF PUERTO RICO — U.S. DEPARTMENT OF ENERGY





PRODUCTIVIDAD Y CONTENIDO NUTRICIONAL DEL
JACINTO DE AGUA *Eichhornia crassipes*
MART (SOLMS), EN RELACION A ALGUNOS
ASPECTOS LIMNOLOGICOS DEL
LAGO CARRAIZO, PUERTO RICO

Rafael Nevárez Jr. y Johnny Villamil
División de Ecología Terrestre

Junio, 1981

CENTRO PARA ESTUDIOS ENERGETICOS Y AMBIENTALES
OPERADO POR LA
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
PARA EL
DEPARTAMENTO DE ENERGIA FEDERAL

NOTA DE AGRADECIMIENTO

Deseamos por este medio expresar nuestro profundo agradecimiento a todas aquellas personas que colaboraron en alguna u otra forma a la realización de esta investigación, especialmente al Dr. José Miguel García Castro, del Hospital Universitario de Niños, al Ing. Fernando Gómez y al Sr. Rafael D'Acosta, del U.S. Geological Survey, al Dr. Manuel Torréns, de la Universidad de Puerto Rico, al Sr. Robert Calvesbert, de la U.S. National Oceanographic and Atmospheric Administration y a Luis Iván Rosa, Iván García, Héctor Miranda y a María de Lourdes Fuentes, del CEEA. Por último, al Sr. Rafael Feliciano por la confección artística de la portada, al Sr. Pedro Sotelo, por los dibujos técnicos y a Marta Rosado por su valiosa ayuda.

TABLA DE CONTENIDO

	<u>PAGINA</u>
Nota de Agradecimiento.....	iii
Tabla de Contenido.....	iv
Lista de Tablas.....	vi
Lista de Figuras.....	ix
Introducción.....	1
Revisión de Literatura.....	1
Area de Estudio.....	9
Objetivos.....	16
Materiales y Métodos.....	16
Resultados y Discusión.....	30
I) Productividad del Jacinto de Agua.....	30
Productividad Neta.....	30
Producción, Predación y Mortalidad de Seudoláminas.....	39
Densidad Específica.....	47
II) Parámetros Químicos, Bioquímicos y Físicos más importantes de los tributarios princi- pales y del Lago Carraízo.....	56
Nitrógeno y Fósforo Total.....	56
Demandas Bioquímicas y Químicas de Oxígeno.....	67
Metales Livianos y Pesados.....	76
Oxígeno Disuelto y Temperatura.....	95

CONTENIDO (CONTINUACION)

	<u>PAGINA</u>
pH.....	102
Conductividad Específica y Total de Sólidos Disueltos.....	104
Iluminación y Transparencia.....	111
Hidrología y Provisión de Nutrientes.....	118
III) Contenido Nutricional del Jacinto de Agua....	122
Relación Peso Seco-Peso Húmedo.....	122
Composición Bruta.....	124
Carbono (TOC).....	124
Nitrógeno (TKN).....	129
Proteína Cruda.....	132
Fósforo Total.....	134
Azufre.....	137
Contenido Calórico.....	139
Cenizas.....	140
Bioacumulación de Metales.....	141
Conclusiones y Resumen.....	148
Literatura Citada.....	154

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>PAGINA</u>
1 Plantas de Tratamiento de aguas servidas que descargan a los tributarios principales del Lago Carraízo.....	8
2 Parámetros químicos determinados por varios autores en el Lago Carraízo, Puerto Rico.....	15
3 Distribución de aumento en biomasa por planta por unidad de tiempo del jacinto de agua en el litoral oeste del Lago Carraízo, Puerto Rico.....	31
4 Porcentaje de incremento en biomasa y factor de incremento diario de la población de jacintos de agua en el litoral oeste del Lago Carraízo.....	36
5 Producción de hojas por día y porcentajes de aumento de hojas con respecto al número de hojas iniciales del jacinto de agua, Lago Carraízo, Puerto Rico.....	42
6 Relación entre la producción de hojas y el % de esas hojas que fueron predadas al jacinto de agua, Lago Carraízo, Puerto Rico.....	44
7 Concentraciones de oxígeno en las diferentes regiones en que predominan el jacinto mediano y el super jacinto respectivamente, Lago Carraízo, Puerto Rico.....	52
8 Concentraciones promedio, máximas, mínimas y desviación estándar (DE) de los valores de TKN y TP en la columna de agua de los tributarios principales y la estación del Lago Carraízo.....	57
9 Concentraciones promedio, máximas, mínimas y desviaciones estándar en la columna de agua de los valores de BOD y COD para los tres tributarios principales y el Lago Carraízo (mg/l).....	68

TABLA - (CONTINUACION)

PAGINA

10	Razones de las concentraciones de BOD a COD en la columna de agua para los tres tributarios principales y el Lago Carraízo.....	75
11	Concentraciones promedio, máximas, mínimas y desviación estándar en la columna de agua de metales selectos para los tres tributarios principales y el Lago Carraízo.....	77
12	Concentraciones promedio de alcalinidad total en la columna para los tributarios principales y el Lago Carraízo respectivamente.....	82
13	Concentraciones promedio de la dureza (como CaCO ₃) en la columna de agua para los tributarios principales y el Lago Carraízo respectivamente.....	84
14	Mediano, máximo y mínimo de los valores de pH en la columna de agua para los tres tributarios principales y el Lago Carraízo.....	103
15	Valores promedio, máximos y mínimos de conductividad específica y media aritmética del total de sólidos disueltos en los tres tributarios principales y el Lago Carraízo.....	107
16	Valores promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de la transparencia por plato Secchi y valores del coeficiente de extinción para los tributarios principales y el Lago Carraízo.....	117
17	Composición (en % por peso seco) de las diferentes secciones morfológicas de dos diferentes localidades, Lago Carraízo, Puerto Rico.....	125

TABLA - (CONTINUACION)

PAGINA

18	Contenido de cenizas (en % por peso seco) y contenido calórico (kilocalorías por gramo por peso seco, de las diferentes secciones morfológicas de dos diferentes localidades, Lago Carraízo, Puerto Rico.....	126
19	Concentraciones de nitrógeno total (TKN) promedio en la superficie del agua relacionadas al % de composición de nitrógeno de los jacintos de agua del Río Grande de Loíza y el Lago Carraízo.....	131
20	Concentraciones de nitrógeno total (TKN) promedio en la superficie del agua relacionadas al % de composición de proteína cruda en los jacintos de agua del Río Grande de Loíza y del Lago Carraízo.....	133
21	Concentraciones de fósforo total (TP) promedio en la superficie del agua relacionadas al porcentaje de composición de fósforo total por sección morfológica de los jacintos de agua del Río Grande de Loíza y el Lago Carraízo.....	136
22	Concentración de cuatro metales de los jacintos de agua de dos diferentes ambientes, Lago Carraízo.....	142
23	Factores de concentración aparente (CA) relacionados a las concentraciones de metales en la columna de agua y las plantas de las dos regiones de muestreo.....	147

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PAGINA</u>
1	Jacinto de agua <i>Eichhornia crassipes</i>	2
2	Sección Longitudinal del jancinto de agua.....	6
3	Mapa de la cuenca hidrográfica del Río Grande de Loíza y área de estudio.....	10
4	Lago Carraízo y sus tributarios principales....	12
5	Diagrama de los cinco cuadrantes en el Lago Carraízo.....	17
6	Localización de estudio de productividad y estaciones de muestreo jacintos de agua.....	18
7	Diseño y detalle del cuadrante utilizado en el estudio de productividad.....	20
8	Detalle del cuadrante utilizado en el estudio de densidad específica.....	22
9	Localización estaciones de muestreo en el estudio de calidad de agua.....	24
10	Representación esquemática del sistema confeccionado para el análisis de mercurio en agua.....	27
11	Histograma de la distribución de la productividad de los jacintos de agua por planta en el Lago Carraízo.....	32
12	Gráfica ilustrativa del % de aumento en biomasa por día en el estudio de productividad del jacinto de agua.....	38
13	Relación exponencial entre el número de hojas producidas por planta por unidad de tiempo.....	41
14	Relación entre el promedio de hojas producidas por día y el % de esas hojas que son predadas del jacinto de agua.....	43

FIGURAS - (CONTINUACION)

PAGINA

15	Variación del por ciento de las hojas muertas por día con respecto al % de hojas predadas por día del jacinto de agua.....	46
16	Histograma de: (A) Núm. de plantas por metro cuadrado y (B) rendimiento en biomasa por metro al cuadrado.....	48
17	Histograma de la altura promedio de los jacintos de agua en las cuatro estaciones de muestreo.....	50
18	Relación del largo total con el peso del jacinto de agua.....	53
19	Distribución vertical de la concentración de nitrógeno (A) Río Caguitas y (B) Río Grande de Loíza.....	58
20	Distribución vertical de nitrógeno y fósforo total (A) Lago Carraízo y (B) Río Gurabo.....	63
21	Distribución vertical de la concentración del BOD y COD en el Río Caguitas (A) y en el Río Grande de Loíza (B).....	69
22	Distribución vertical de la concentración de BOD y COD en el Lago Carraízo (A) y el Río Gurabo (B).....	71
23	Distribución vertical del calcio en las estaciones (A) Río Grande de Loíza (B) Río Caguitas (C) Río Gurabo y (D) Lago Carraízo.....	81
24	Distribución vertical de manganeso y cobre en (A) Río Caguitas y (B) Río Grande de Loíza.....	85
25	Distribución vertical de la concentración de manganeso y cobre en el Lago Carraízo (A) y el Río Gurabo (B)....	86

FIGURAS - (CONTINUACION)

	<u>PAGINA</u>
26	Distribución vertical del mercurio total y cadmio en (A) Río Caguitas y (B) Río Grande de Loíza..... 90
27	Distribución vertical del mercurio total y cadmio en el (A) Lago Carraízo y (B) Río Gurabo..... 91
28	Distribución del oxígeno disuelto y temperatura del Lago Carraízo (A) soleado y (B) nublado..... 96
29	Curva de oxígeno disuelto y temperatura para el Río Gurabo (A) soleado y (B) nublado..... 98
30	Curva de distribución de oxígeno disuelto y temperatura en (A) Lago Carraízo y (B) Río Gurabo..... 100
31	Curva de oxígeno disuelto y temperatura en el Río Caguitas (A1) soleado y (B1) nublado y el Río Grande de Loíza (A2) soleado y (B2) nublado..... 101
32	Distribución de la conductividad específica en (A) Río Caguitas y (B) Río Grande de Loíza..... 105
33	Distribución de la conductividad específica para el (A) Lago Carraízo y (B) Río Gurabo..... 106
34	Conductividad específica por estación contra rendimiento en kilogramos por metro cuadrado de jacintos de agua..... 109
35	Concentración de cobre por estación comparada con el rendimiento en kilogramos por metro cuadrado del jacinto por estación..... 110

FIGURAS - (CONTINUACION)

	<u>PAGINA</u>
36 Por ciento de penetración de luz contra profundidad (A) Río Caguitas y (B) Río Grande de Loíza.....	112
37 Por ciento de penetración contra la profundidad en el Río Gurabo.....	113
38 Por ciento de penetración de luz contra profundidad en el Lago Carraízo.....	115
39 Gráficas de transparencia y coeficiente de extinción para las cuatro estaciones del estudio...	116
40 Histogramas de la precipitación total en estaciones selectas en la cuenca del Río Grande de Loíza y descarga promedio mensual en los tributarios del Lago Carraízo.....	119
41 Relación lineal de peso húmedo de los jacintos de agua con el peso seco.....	123
42 Composición bruta de los jacintos de agua.....	127
43 Histograma del % de composición de fósforo y contenido calórico del jacinto de agua del Río Grande de Loíza y del Lago Carraízo.....	128
44 Bioacumulación de metales pesados en los jacintos de agua del Río Grande de Loíza y el Lago Carraízo.....	143

INTRODUCCION

Actualmente en Puerto Rico existen dos problemas de amplia repercusión ambiental: la contaminación y reducción de la calidad de las aguas de nuestros cuerpos de agua interiores y la crisis energética. En el presente estudio, se analizaron los parámetros ecológicos más importantes de la macrófita vascular monocotiledónea, *Eichhornia crassipes*, {Mart, (Solms)}, mejor conocida como jacinto de agua (fig. 1) en uno de nuestros abastos principales de agua potable del Area Metropolitana, el Lago Carraízo, en vías de solucionar simultáneamente ambos problemas.

Durante los últimos cincuenta años, esta planta flotante acuática, el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) oriunda del Brazil y hoy día ampliamente distribuida en las regiones tropicales y subtropicales del globo terráqueo, ha creado la condición de competencia con el hombre por la utilización de los cuerpos de agua del mundo, debido a su explosivo crecimiento en los nuevos ambientes, catalogándola así como una calamidad duradera (Bock, 1966, Vietmeyer, 1975; Pirie, 1960). Mas, en la última década se ha cambiado el enfoque hacia ella y se ha estudiado y considerado su utilización en diversos usos. Wolverton & Mc Donald (1975a, 1979a), al igual que Lecuyer *et al* (1976), Bagnall (1979), Goodman & Pimentel (1979), Villamil & Erdman (1979, 1980) y Villamil *et al* (1979) han analizado y propuesto la utilización del jacinto de agua como una fuente innovadora de biomasa para su conversión por digestión anaeróbica, al gas metano (CH₄). En diversos estudios llevados a cabo por Wolverton (1975a, 1975b), Wolverton & Mc Donald (1975b,



FIGURA 1 JACINTO DE AGUA *Eichhornia crassipes*.

1975c, 1978a), Wolverton *et al* (1975), Dinges (1976, 1978a, 1978b), Tridech *et al* (1979), Steward (1970), Boyd (1970), Wooten & Dodd (1976), Cornwell *et al* (1977), Cooley *et al* (1978a) y Mc Donald & Wolverton (1980), han estudiado el empleo de los jacintos de agua para la remoción de fenoles, cadmio (Cd), níquel (Ni), plomo (Pb), mercurio (Hg), plata (Ag), cobalto (Co), estroncio (Sr), hierro (Fe), cromo (Cr), zinc (Zn), cobre (Cu), magnesio (Mg), manganeso (Mn), cloro (Cl), potasio (K) arsénico (As), bifeniles policlorinados (PCB), plaguicidas y el tratamiento de efluentes de aguas servidas, respectivamente. Por otro lado, Widyanto & Soponnata (1979) y Joedodibroto *et al* (1979) han sugerido la utilización del jacinto de agua para la producción de papel y material de pulpa en Indonesia respectivamente. En la actualidad estas plantas acuáticas se están utilizando para el tratamiento de aguas domésticas en el estado de Texas, y en la remoción de compuestos orgánicos, metales pesados y tratamiento de aguas servidas en el Laboratorio Nacional de Tecnología Espacial de la NASA, con bases en Bay St. Louis, Mississippi, E.U.A. (Dinges, 1978; Wolverton & Mc Donald, 1978a, 1979b; Mc Donald & Wolverton, 1980).

Una de las razones principales para la utilización del jacinto de agua en la remoción, ya sea de nutrientes como de contaminantes, es el alto potencial de productividad que la planta posee. Según estudios llevados a cabo por Penfound & Earle (1948), éstos determinaron una razón de crecimiento de 75.25tm/ha (ton. métricas/héctarea-peso húmedo) en Louisiana. Earle (según Penfound, 1956), calculó una razón máxima de 0.146tm/ha/d en Nueva Orleans. Más recientemente, Yount & Crossman (1970), Rushing (1974) y

Lecuyer *et al* (1976) llegaron a registrar razones de crecimiento de 0.54 tm/ha/d, 1.478 tm/ha/d y 0.4062 tm/ha/d en ambientes naturales respectivamente, mientras que en el caso del manejo del jacinto de agua en el tratamiento de aguas domésticas, Knipling *et al* (1970) registró una razón de 440 tm/ha; Wahlquist (1972) obtuvo una producción máxima de 590.9 tm/ha; Boyd (1976) determinó la razón en 0.194 tm/ha/d; Villamil *et al* (1979) calcularon una producción en 2.16 tm/ha/d, y por último, Wolverton & Mc Donald (1979c) registraron una razón de crecimiento de 101 tm/ha en una semana. Esta cualidad hace que esta planta posea una alta productividad con un tiempo de duplicación de su biomasa entre 7 y 12.5 días (Villamil *et al*, 1979; Wolverton & Mc Donald, 1979c y Penfound & Earle, 1948). Este crecimiento tan acelerado del jacinto de agua lo dota de una serie de atributos que serán de gran utilidad para el tratamiento secundario y terciario de aguas negras, ya que se ha logrado una remoción de hasta el 90% del nitrógeno total (TKN), el 80% del fósforo total (TP), el 40% de la concentración de ortofosfatos (PO_4^{-3}), el 95% del total de los sólidos suspendidos (TSS), el 98% de los sólidos volátiles suspendidos (VSS) y una baja significativa en la demanda bioquímica y química de oxígeno (BOD y COD) de hasta un 95 y 90% respectivamente, el total de carbono orgánico (TOC) en un 80%, a la vez que han reducido en un 92.8% en la cantidad de coliformes fecales, a la vez que han removido otros agentes químicos indeseables, como los fenoles y los bifeniles policlorinados (PCB) con un 96 y 100% de reducción del total respectivamente.

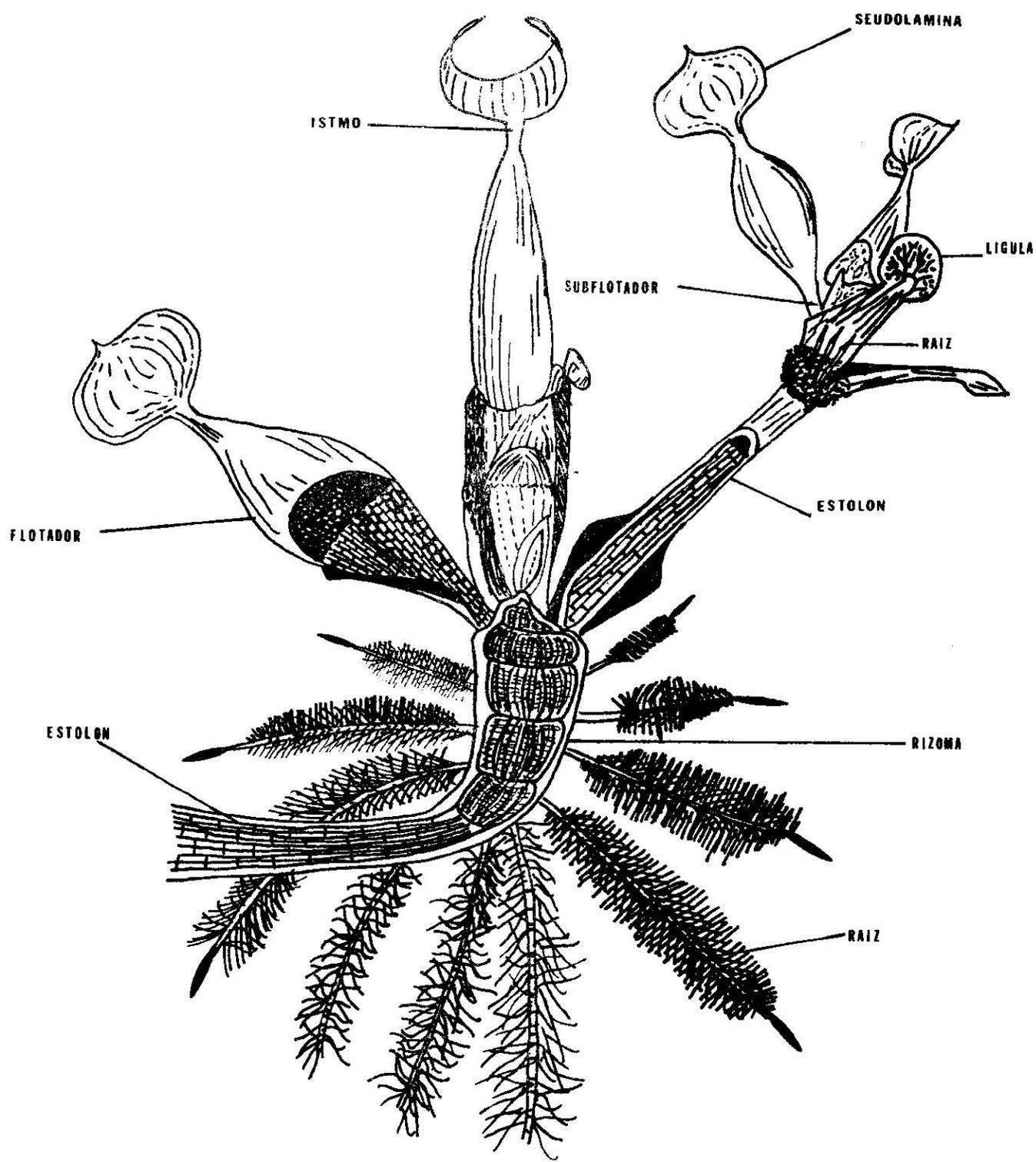


FIG. 2 -SECCION LONGITUDINAL DEL JACINTO DE AGUA.

atmósfera cuando éste se presenta en brotes masivos (Rushing, 1974; Quiñones-Márquez, 1976; Villamil & Erdman, 1979, 1980). La deficiencia en el oxígeno disuelto (DO) viene a consecuencia de la disminución en la penetración de la luz en la columna de agua, la cual elimina por completo la producción primaria y, por lo tanto, creando condiciones anóxicas, las cuales en diversas ocasiones traen como consecuencia grandes mortandades y sucesiones en la población piscícola (Penfound & Earle, 1948; Boyd, 1970; Vietmeyer, 1975; Quiñones-Márquez, 1976; Villamil, 1979); la pérdida de grandes volúmenes de agua por medio de la evapotranspiración del jacinto puede ser de hasta 3.7 veces mayor que la evaporada en aguas abiertas, lo que puede reducir drásticamente la capacidad de almacenaje de los abastos de agua potable (Timmer & Weldon, 1967; Gopal & Sharma, 1979). Sin embargo, la remoción de los nutrientes y agentes químicos contaminantes, tanto de fuentes puntuales como no puntuales, es uno de los diversos beneficios que se pueden derivar del jacinto de agua, pero desgraciadamente, en donde no se han tomado medidas para la utilización y manejo de esta fuente disponible de biomasa, los nutrientes y contaminantes son reciclados nuevamente al sistema (Fruh *et al.*, 1967; Timmer & Weldon, 1967; Boyd, 1970; Yount & Crossman, 1970; Jewell, 1971; Rho & Gunner, 1980; Villamil & Erdman, 1979, 1980). Un ejemplo típico de este caso lo presenta el Lago Carraízo, en el cual descargan seis (6) plantas de tratamiento de aguas servidas (Tabla I), descargando un promedio de 29,564 m³/d de efluente parcialmente tratado o crudo en su cuenca hidrográfica y por lo tanto, contribuyendo como la mayor fuente de contaminación y eutroficación de este cuerpo de agua potable (Biaggi, 1965).

TABLA I: PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS QUE DESCARGAN A LOS TRIBUTARIOS
PRINCIPALES DEL LAGO CARRAIZO

LOCALIZACION DE LA PLANTA	TIPO*	TRIBUTARIO AL QUE DESCARGA	CAPACIDAD m ³ /d	AFLUENTE m ³ /d	% DE REMOCION BOD ₅	TSS
Aguas Buenas	2	Río Bairoa	870.64	1135.62	60	47
Caguas	2	Río Caguitas	13021.80	20819.70	62	67
Gurabo	1	Río Gurabo	2271.24	1703.43	87	86
Juncos	2	Río Gurabo	1941.90	2498.36	70	70
Las Piedras	3	Río Valenciana	227.0	1135.60	16	24
San Lorenzo	2	Río Grande Loíza	2536.22	2271.24	70	70

* TIPO

- 1) Lodos Activados
- 2) Filtro por Goteo
- 3) Tanque Imhoff

(Fuente: Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, 1980. Los datos presentan el promedio por el período 1978-1979).

AREA DE ESTUDIO

El Lago Carraízo es el componente principal de la cuenca hidrográfrica del Río Grande de Loíza (fig. 3). Este se encuentra en un valle con una elevación de 40m sobre el nivel del mar, localizado políticamente entre los municipios de Trujillo Alto y Caguas. Posee una amplitud máxima de 250m y 5 km de longitud. Este cuerpo de agua interior está alimentado por dos tributarios principales: El Río Grande de Loíza y el Río Gurabo, y cuatro pequeños ríos: El Río Turabo, El Río Caguitas, el Río Bairoa y el Río Cañas (fig. 4). El área de su cuenca hidrográfrica es de aproximadamente 534 km², corriendo en dirección de sur a norte. Este lago fue construido en el 1954 por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (A.A.A.) con el propósito de abastecimiento de agua potable para el área de San Juan Metropolitano y para la producción de energía, con un volumen original de almacenaje de agua de 20,000 pies-acre, equivalentes a 24.7 Mm³ (6.52 x 10⁹ galones). El lago provee cerca del 70% del suplido total de agua para el Area Metropolitana, aportando un promedio de 300,000 m³/día para propósitos domésticos e industriales. La operación y mantenimiento de las facilidades de filtrado y distribución de las aguas está a cargo de la A.A.A.

La formación geológica del área ha sido descrita por Pease (1968), consistente de cinco formaciones geológicas principales. Estas son depósitos aluviales, Lava Santa Olaya, depósitos Terraza, cuarzo-diorita y la Breccia Carraízo.

Los depósitos aluviales son de origen Terciario y Cuaternario, consistentes de gravilla, arena, arcilla y cienos. Esta base

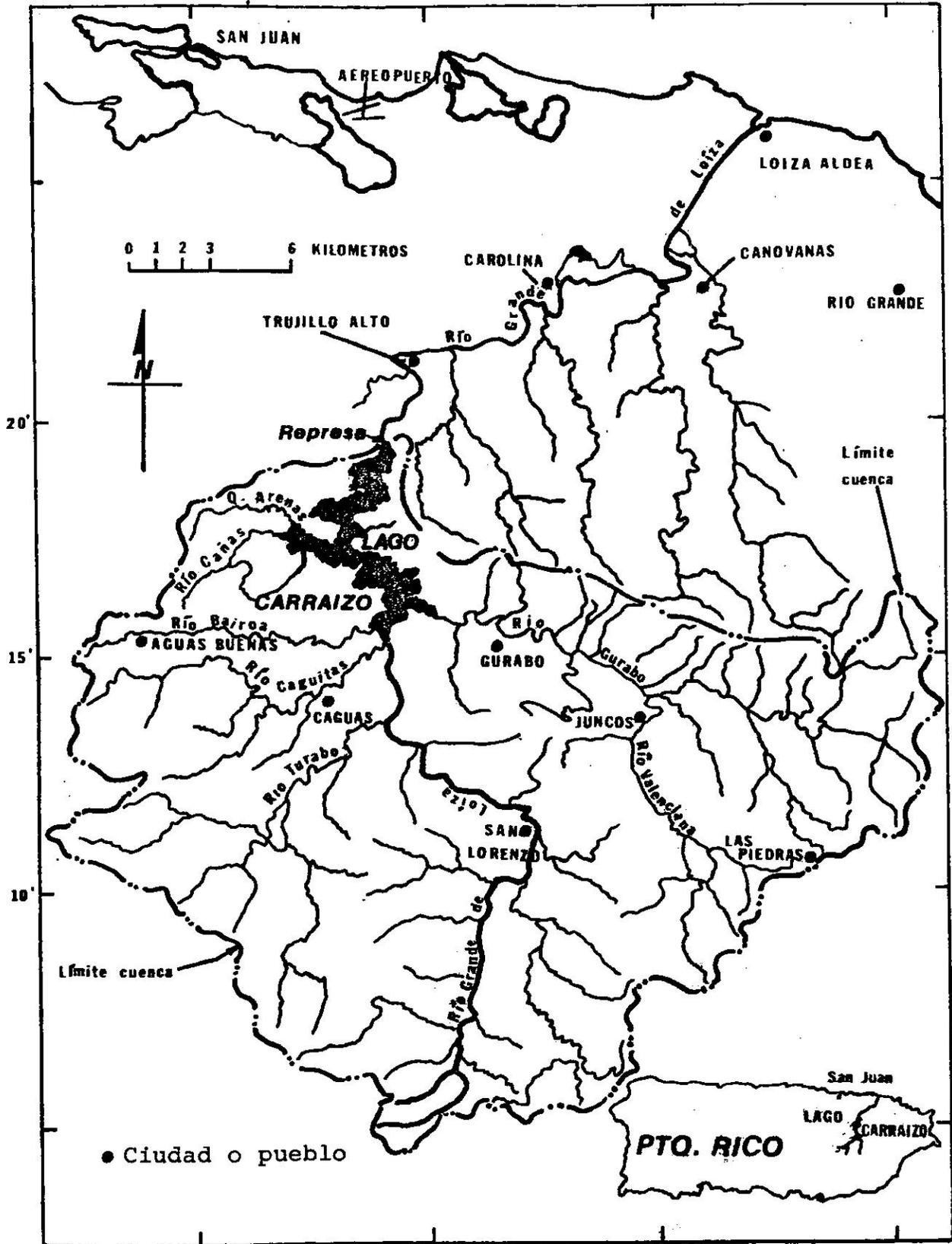


FIGURA 3 MAPA DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO GRANDE DE LOIZA Y AREA DE ESTUDIO

geológica es típica de la región del Río Grande de Loíza hasta aproximadamente la desembocadura del Río Gurabo. La formación correspondiente a la Lava Santa Olaya y los depósitos de Terrazo consisten principalmente de albita, cuarzo y diorita, conteniendo fragmentos de piedra pómez y arena, gravilla, arcilla y cienos en terrazos o estratos con fragmentos de depósitos aluviales y coluviales, respectivamente, correspondiendo a la geología de la región del Río Gurabo y el comienzo de la región del Lago Carraízo, cuya formación es de Lava Santa Olaya. La formación de cuarzo-diorita es de origen Paleocénico, cuyos terrenos son arenosos, consistiendo mayormente de cuarzo, albita, feldespatos potásicos, pirita y sulfuros metálicos. Esta base está restringida a la región descrita entre el Lago Carraízo y la desembocadura del Río Gurabo. Por último, la Breccia Carraízo consiste principalmente de roca volcánica en forma de fragmentos y bloques de andesita afanítica, que a su vez contienen piedra pómez, plagioclasa y piroxeno, en una matriz de diorita y un material lítico. Esta es la formación que predomina en la región del Lago Carraízo.

La limnología del Lago Carraízo ha sido descrita en general por trabajos con objetivos en específico, como por ejemplo, la preocupación por la calidad de las aguas llevada a cabo en estudio conjunto del Departamento de Salud y la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (1963); los tipos y potenciales de los recursos de pesca por Erdman (1972), Erdman *et al* (1973), Shulte (1973, 1975) y Rivera (1975, 1976a, 1976b); el problema de schistosomiasis y su control por Jobin *et al* (1976, 1977) y una descripción preliminar de la flora llevada a cabo por Estrada (1981). Por otro lado, se

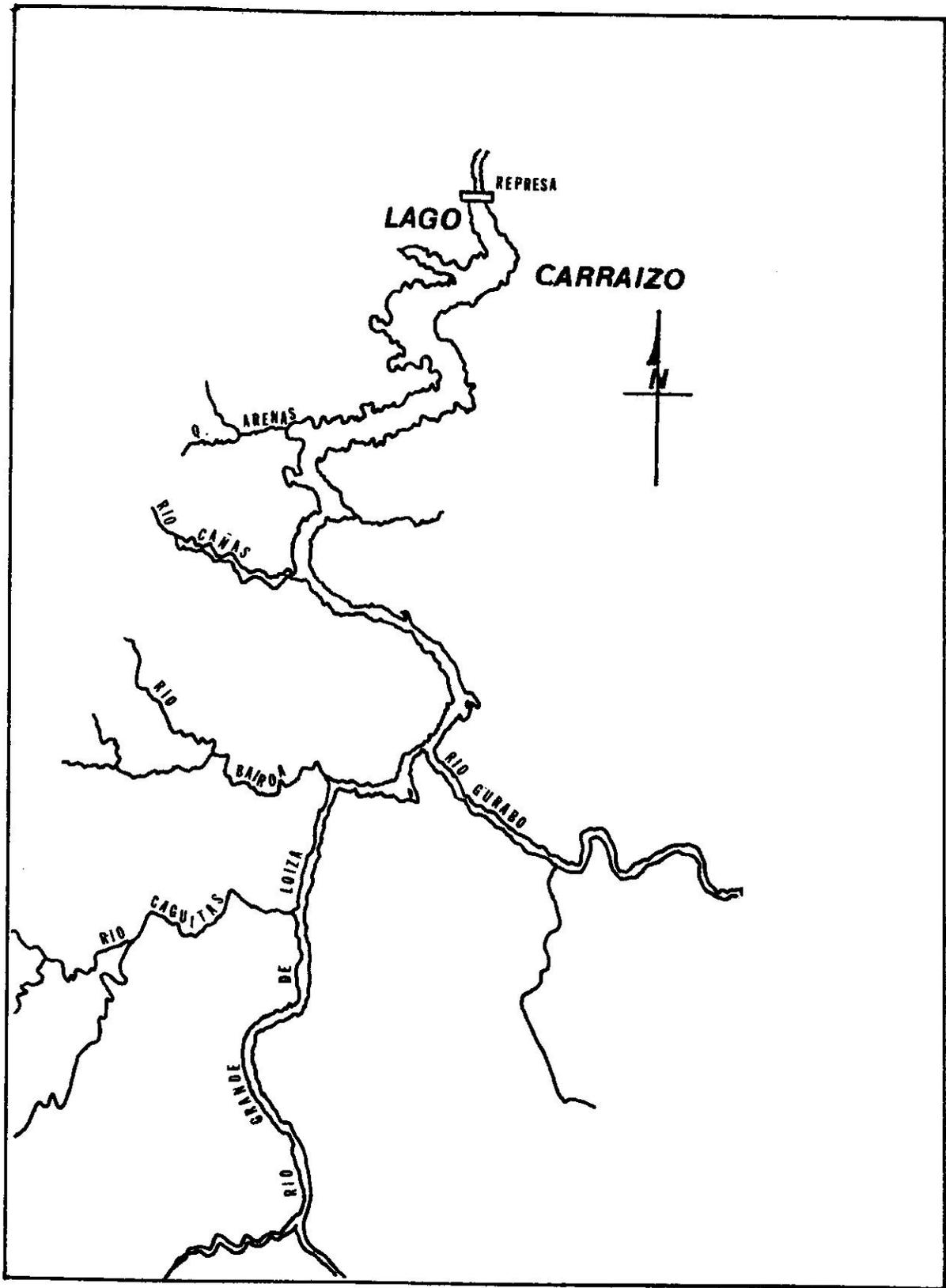


FIG. 4 LAGO CARRAIZO Y SUS TRIBUTARIOS PRINCIPALES

van efectuando algunos trabajos que describen la ecología, estructura y función de este embalse, llevados a cabo por Rushing (1974), Carbajal-Zamora (1974), Brown *et al* (1979), Martínez (1979) y Quiñones-Márquez (1980). Tanto Rushing (1974) como Carbajal-Zamora (1974) llevaron a cabo una serie de estudios concernientes al problema del jacinto de agua y las poblaciones de zooplancton respectivamente, mientras que Brown *et al* (1979) y Martínez (1979) se dedicaron a efectuar estudios de naturaleza limnológica. Por último, en el estudio más reciente, Quiñones-Márquez (1980), llevó a cabo pruebas hidrológicas y geológicas en adición a las determinaciones limnológicas, siendo el estudio más completo efectuado hasta el momento.

La precipitación anual promedio en el área de estudio fluctúa entre 127 y 204 cm. (Departamento de Recursos Naturales, D.R.N., 1978). Con relación a esto, Quiñones-Márquez (1980) estimó durante su período de investigación (1973-1975) que se descargaron aproximadamente un total de 280 Mm³ de agua al Lago Carraízo, de los cuales, el 49.7% fue aportado por el Río Grande de Loíza (139 Mm³). A grandes rasgos, la razón de flujo promedio del Lago Carraízo está cerca de las 19 veces/año (Quiñones-Márquez, 1980).

La capacidad actual del Lago Carraízo ha sido estimada por Quiñones-Márquez (1980) en 14.9 Mm³ de agua, lo que significa una pérdida de aproximadamente un 60% de la capacidad original de almacenaje descrita por Arnow & Crooks (1960) de 24.6 Mm³. Esta pérdida significativa en cuanto a la capacidad de almacenaje del Lago se debe al alto grado de sedimentación, que responde a la disminución en la calidad de las aguas por eutroficación de este cuerpo, dándole un margen de utilización de no más de 40 años

(Junta de Calidad Ambiental, 1978; Quiñones-Márquez, 1980). En la Tabla 2, se resumen una serie de parámetros químicos determinados por las investigaciones más importantes en el Lago Carraízo.

TABLA 2: PARAMETROS QUIMICOS DETERMINADOS POR VARIOS AUTORES EN EL LAGO CARRAIZO, PUERTO RICO

PARAMETRO	JOBIN <i>et al</i> (1976)	BROWN <i>et al</i> (1979)	MARTINEZ (1979)	QUINONES-MARQUEZ (1980)
Oxígeno Disuelto (DO)	-----	4.44mg/l	6.19 mg/l	5.0 mg/l
Fósforo Total (TP)	0.18mg/l	0.28mg/l	1.149mg/l	0.33mg/l
Nitratos y Nitritos (NO ₃ , NO ₂)	0.95mg/l	0.38mg/l	0.71 mg/l	1.1 mg/l
Nitrógeno Total (TKN)	-----	-----	-----	1.75mg/l
Amoníaco (NH ₃)	-----	-----	0.04mg/l	0.10mg/l
pH	-----	7.24	7.40	7.45

OBJETIVOS

Los objetivos del estudio se dividieron en los siguientes:

Primarios:

- A) Medir la productividad del jacinto de agua en el Lago Carraízo.
- B) Determinar los efectos de los afluentes del Lago Carraízo en la calidad de las aguas del Lago.
- C) Efectuar un análisis químico del material del jacinto en las zonas designadas para su cosecho.

Secundarios:

- A) Recomendar procedimientos y métodos para el manejo del jacinto de agua en nuestras reservas de agua potable.
- B) Recomendar métodos para disminuir la razón de eutroficación y optimizar la razón de remoción de nutrientes y contaminantes de los cuerpos de agua interiores por medio de la remoción del jacinto de agua a un tiempo dado.

MATERIALES Y METODOS

En el estudio de productividad (objetivo primario A), se establecieron cinco (5) cuadrantes de diez metros cuadrados ($10m^2$) en el área del litoral oeste (fig. 5, 6) del Lago Carraízo, conocida por el crecimiento profuso del jacinto de agua. Cada uno de estos cinco (5) cuadrantes (Fig. 7) midió dos metros (2m) de ancho por cinco metros (5m) de largo, contruidos de madera fijados al fondo del Lago por medio de una cuerda de nilón amarrada a un bloque de concreto en dos esquinas contrarias. Estos cuadrantes

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10

11	12	13	14	15
16	17	18	19	20

21	22	23	24	25
26	27	28	29	30

31	32	33	34	35
36	37	38	39	40

41	42	43	44	45
46	47	48	49	50

FIG. 5 DIAGRAMA DE LOS CINCO CUADRANTES EN EL LAGO CARRAIZO

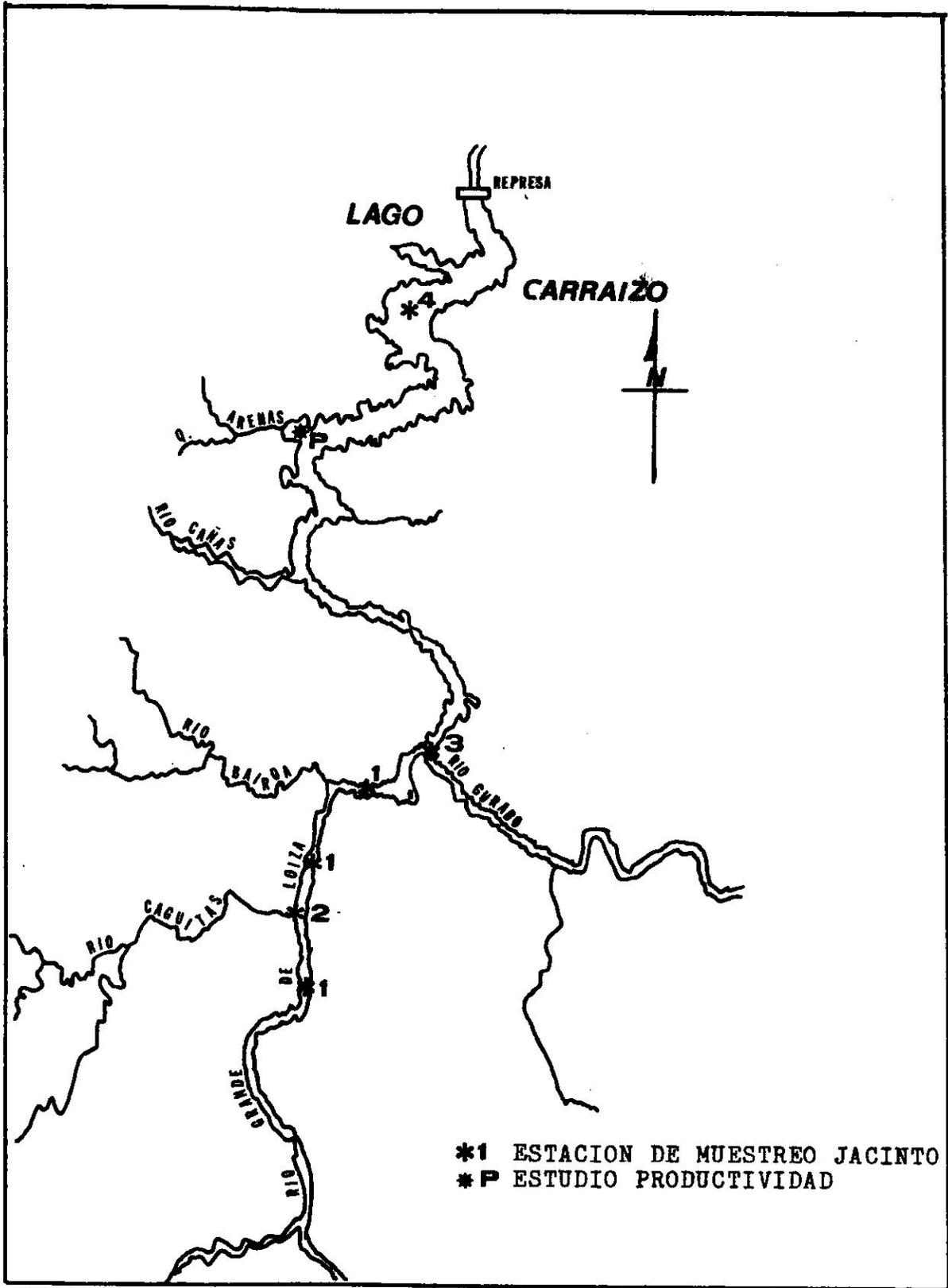


FIG. 8 LOCALIZACION ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD Y ESTACIONES DE MUESTREO JACINTOS DE AGUA

a su vez, fueron subdivididos en áreas de un metro cuadrado ($1m^2$) con diversos cordones de nilón. Cada pequeño cuadrante de $1m^2$ fue sembrado con un jacinto de agua sencillo, de aproximadamente 100g de peso, saludable y sin retoños, el cual se obtuvo de los brotes existentes en la vecindad del Lago. Antes de cada pesaje, las plantas se mantuvieron fuera del agua sólo el tiempo requerido para drenarle el agua, luego se pesaba y se le efectuaba un contaje del número de hojas producidas, predadas y muertas y finalmente el número de retoños producidos. Este proceso se ejecutó tres (3) veces a la semana por las primeras dos semanas y una (1) vez por semana en las restantes tres. El pesaje se llevó a cabo con una balanza tipo Holms, modelo 1000, con una escala graduada en gramos y compensada por la temperatura. Este proceso se ejecutó durante los meses de marzo y abril de 1980.

Como suplemento al estudio de productividad, se efectuó un estudio de densidad específica, que consistió del contaje del número de plantas y la cantidad de biomasa disponible por unidad de área. Además de esto, a cada planta se le tomó la altura o longitud desde la base del rizoma hasta el punto más alto de sus hojas. A tales efectos, se escogieron cuatro (4) regiones a lo largo de la cuenca hidrográfica del Río Grande de Loíza:

- a) la región río arriba del Río Grande de Loíza;
- b) la desembocadura del Río Caguitas;
- c) la desembocadura del Río Gurabo, y
- d) la región del Lago Carraízo, aproximadamente a un Km. (1Km.) de la represa.

Con tal motivo, se utilizó un cuadrante de un metro cuadrado ($1m^2$)

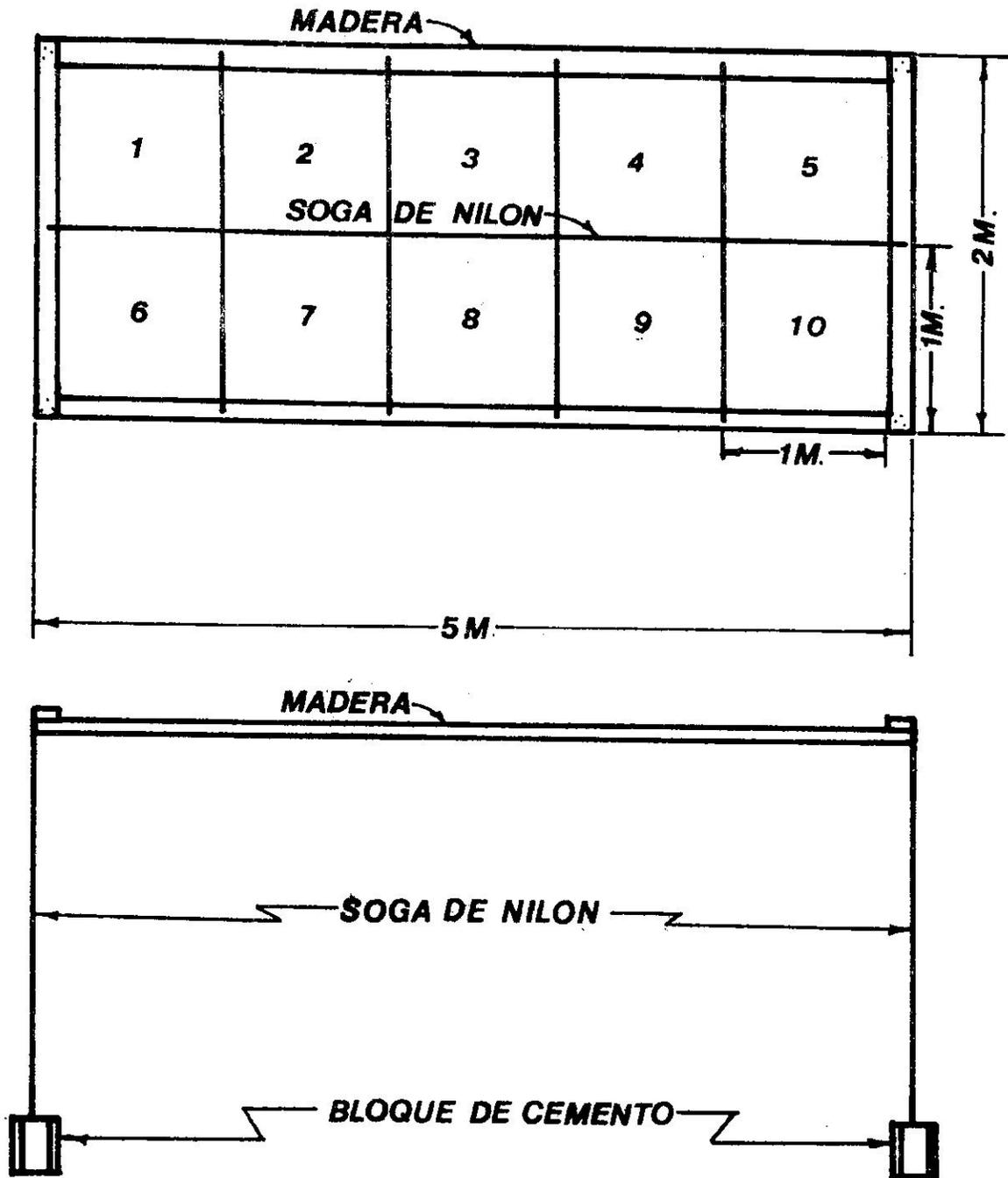


FIGURA 7 DISEÑO Y DETALLE DEL CUADRANTE UTILIZADO EN EL ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD

hecho de tubería plástica de PVC (Fig. 8). Este se lanzó en los lugares designados al azar, se le anotó el peso húmedo en gramos a los jacintos, después de drenarlos y se les tomó la altura en centímetros. El conteaje del número de plantas se llevó a cabo asumiendo que cada jacinto extraído del cuadrante y pesado era una planta, tuviese retoños o no. Esta fase se llevó a cabo el 22 de enero de 1981.

Para el desarrollo del objetivo primario B, se establecieron cuatro (4) estaciones de muestreo a lo largo de la cuenca hidrográfica del Río Grande de Loíza (Fig. 9): la estación número 1 se localizó en la región río arriba del Río Grande de Loíza, aproximadamente a 1 Km. del puente que pertenece a la Carretera Núm. 30, que conduce de Caguas a Humacao; la estación número 2 se localizó en la zona de mezcla del Río Caguaitas y el Río Grande de Loíza; la estación número 3 se ubicó en la zona de mezcla del Río Gurabo y el Río Grande de Loíza y la estación número 4 se estableció en el centro de la inmediación del Lago Carrafzo, localizada aproximadamente a 1 Km. de la represa. Cada estación se marcó con el uso de un envase de plástico que actuó de flotador, el cual se fijó al fondo con un bloque de concreto, unidos entre sí con un pedazo de soga de nilón en sus extremos. Seguidamente, se desarrollaron una serie de pruebas químicas y físicas para describir el perfil de la columna de agua por estación. En el caso de las estaciones 3 y 4, las muestras de agua se tomaron de tres (3) niveles distintos, como sigue:

- a) superficie
- b) parte central
- c) fondo

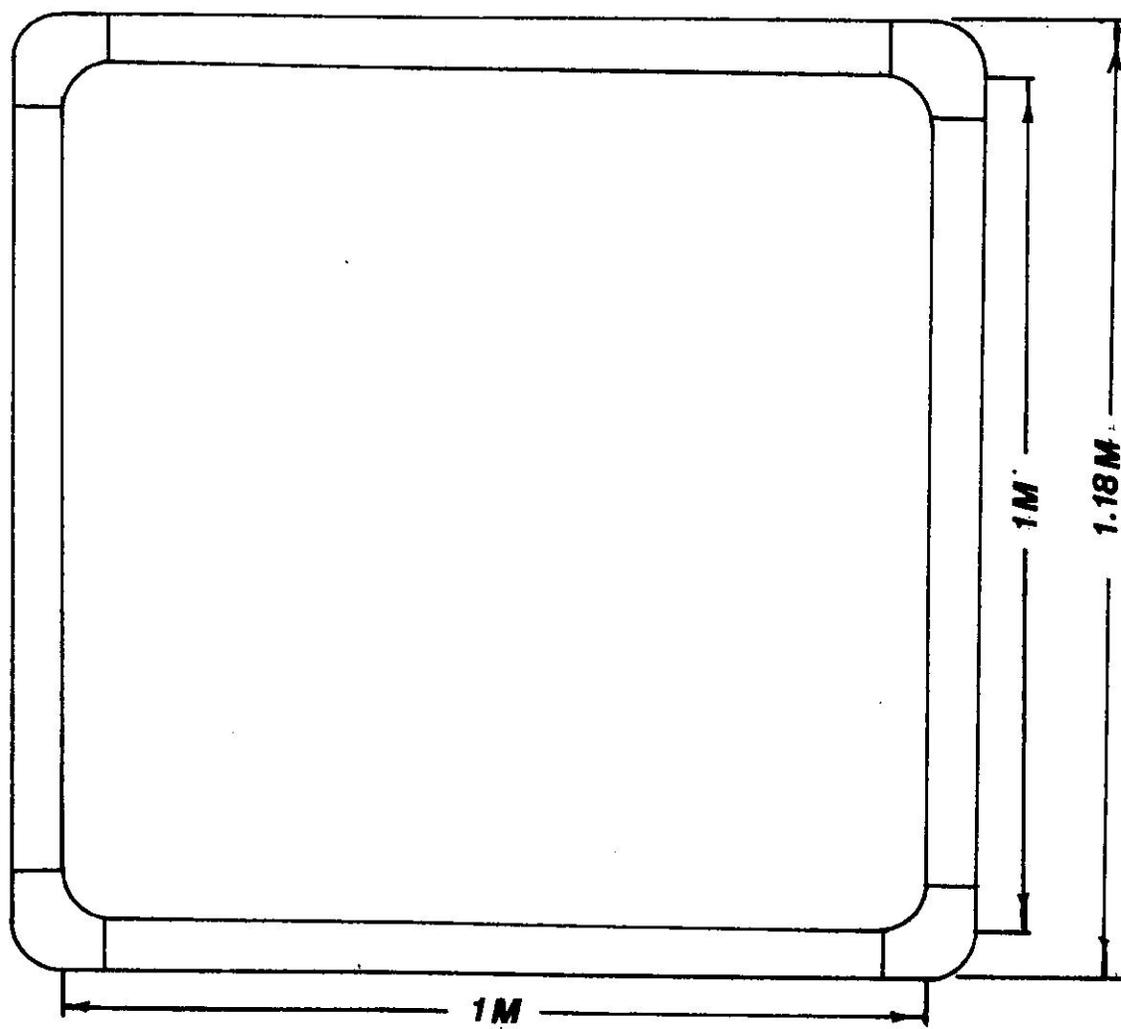


FIG. 8 DETALLE DEL CUADRANTE UTILIZADO EN EL ESTUDIO DE DENSIDAD ESPECIFICA

Por otro lado, la escasa profundidad de las estaciones 1 y 2 sólo permitieron tomar muestras de dos (2) niveles, a saber:

- a) superficie
- b) fondo

Para obtener las muestras de agua para las pruebas químicas en cada estación y en los diferentes niveles, se utilizó una botella Van Dorn de dos (2) litros de capacidad, las cuales se tomaron a través de un tubo de goma localizado a la salida de la botella, la cual se introdujo hasta el fondo de cada botella de polietileno de 250ml. de capacidad que iba a contener las muestras de agua, dejando salir ésta hasta que desbordara. Los parámetros químicos a determinarse en el laboratorio fueron: nitrógeno total (TKN); fósforo total (TP), demanda química y bioquímica de oxígeno (COD y BOD₅, respectivamente) y se detectó la presencia de los metales manganeso (Mn), cobre (Cu), cadmio (Cd), plomo (Pb), calcio (Ca) y mercurio (Hg). En el campo, se realizaron (*in situ*) las determinaciones de pH, oxígeno disuelto (DO), temperatura, conductividad, penetración de luz y la transparencia. Todos estos ensayos se basaron en la toma y análisis de muestras de agua bimensualmente durante un período de cinco (5) meses, los cuales incluyeron épocas de sequía y lluvias (junio-octubre, 1980).

Los siguientes métodos y/o instrumentos fueron utilizados a través de esta fase para medir los parámetros arriba mencionados. Nitrógeno total (TKN) fue determinado por el método Micro Kjeldahal; fósforo total (TP) fue detectado por el método *vanadato-molibdato*, ambos de acuerdo a *Standard Methods for the Examination of Water and*

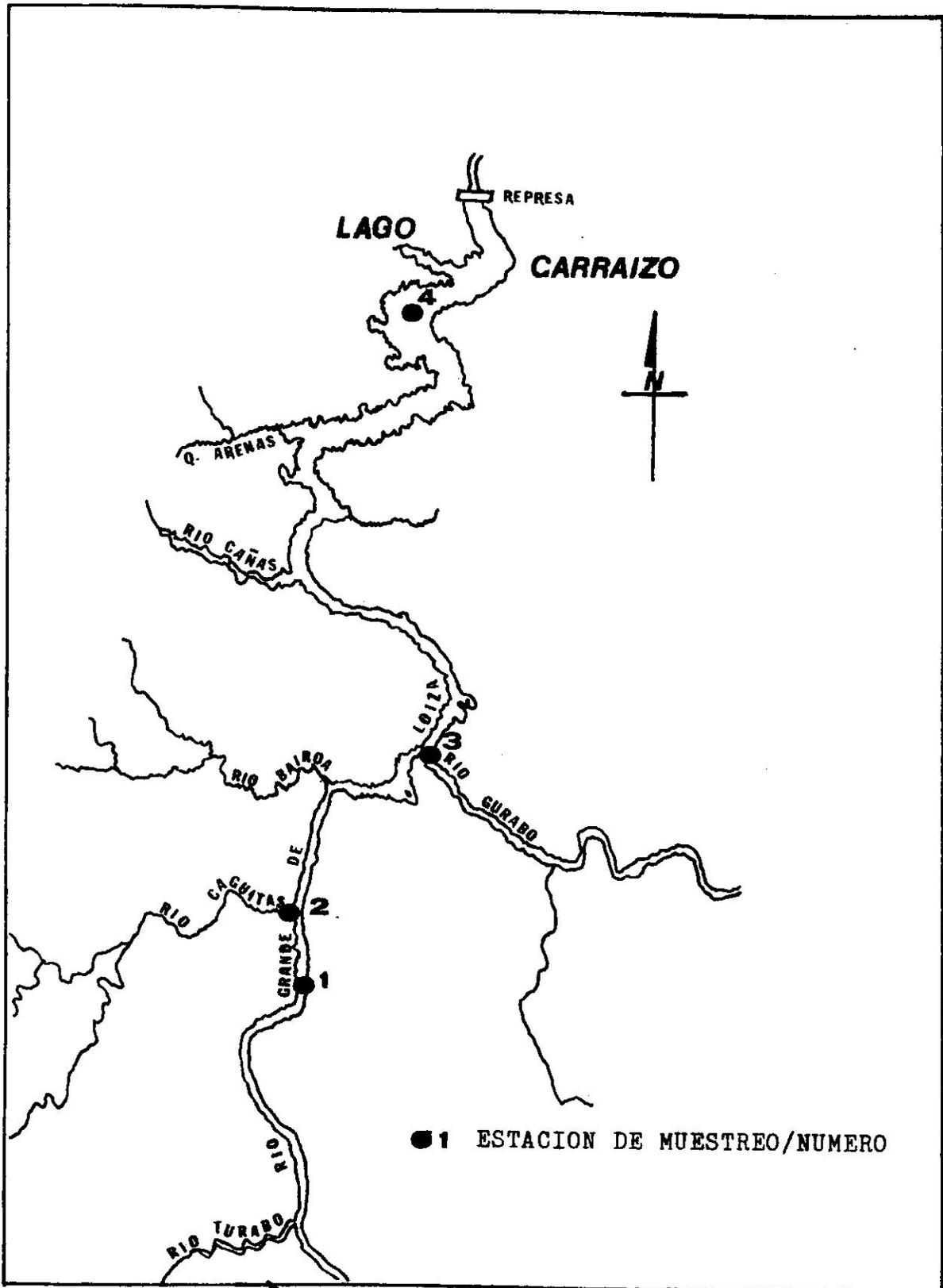


FIG. 5 LOCALIZACION ESTACIONES DE MUESTREO EN EL ESTUDIO DE CALIDAD DEL AGUA

Wastes, de APHA, 14ta. edición, medidas de demanda química y bioquímica de oxígeno (COD, BOD₅) se efectuaron según lo establecido por *Standard Methods*, 14ta. ed. y la preservación y procedimientos de almacenaje se llevaron a cabo según lo especificado por *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*, de U.S.E.P.A., 1979.

Las concentraciones de los metales Mn, Cu, Cd y Pb se determinaron de acuerdo a *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry*, de Perkin-Elmer, 1976 y *Methods for the Chemical Analysis of Water and Wastes*, 1979, con la utilización de un espectrofotómetro Perkin-Elmer, modelo 360, equipado con un horno de grafito Perkin-Elmer HGA-2100, Corrector de Trasfondo de Deuterio, un registrador Perkin-Elmer, modelo 056 y utilizando el gas argón (Ar) como gas de arrastre. Calcio fue analizado por el método de titulación con EDTA (Ethylene Diamine Tetraacetic Acid), según establecido por *Standard Methods*, 14ta. ed., de cuyos valores se obtuvo la dureza multiplicando por un factor de 100,000. En el caso del mercurio (Hg), se empleó el método de vapor frío (cold vapor) de Magos & Clarkson (1972) modificado por García-Castro (1980). Este método consiste en añadirle a una muestra de agua de 1ml., 1ml de agua loble destilada, 50µl de solución al 5% de permanganato de potasio (KMnO₄), se agita, luego se añaden 5ml. de H₂SO₄ concentrado libre de mercurio, se vuelve a agitar, y se le añaden 10ml. de solución de NaCl al 1.0% para proporcionar volumen. Luego de esto, se le añaden 200µl de una solución al 10% de hidroxilamina (NH₄OH.HCl) y se agitan hasta que la solución se torne incolora. Por último, se introduce un "pellet" de plástico inerte, se le añade un mililitro de una solución de cloruro estañoso-cloruro de cadmio (SnCl₂-Cd Cl₂)

y se tapa rápidamente. Inmediatamente se aplica calor y se agita vigorosamente por espacio de un (1) minuto. Finalmente, se enciende la bomba de vacío y se hacen pasar los vapores por el sistema de absorción atómica Pharmacia, consistente de una unidad monitorea y una unidad de control, provisto de una lámpara de mercurio operada a 10 mV, operado a una sensibilidad de 0.018 conectado a un registrador Pharmacia, operado a un voltaje de 10 mV y una velocidad de graficado de 1.27mm/seg. El montaje de todo el equipo se muestra en la Fig. 10. Por otro lado, en las determinaciones llevadas a cabo *in situ* en el campo, el pH se tomó utilizando el metro de pH digital portátil Orion Specific Ion Meter. El agua para este ensayo se obtuvo de la botella Van Dorn a los diferentes niveles. El oxígeno disuelto (DO), temperatura, conductividad y penetración de luz se midieron a intervalos de un metro (1m.) en la columna de agua, utilizando con tal propósito los metros YSI Dissolved Oxygen Meter y YSI Conductivity Meter para los primeros tres (3) parámetros y el fotómetro sumergible Protomatic, graduado en pies-candelas, para el último. En el caso de la conductividad, la lectura tomada por cada intervalo de 1m. se tradujo a la concentración del total de sólidos disueltos (TDS), multiplicando la lectura por el factor 0.65, según *Standard Methods*, 14ta. ed. Las lecturas de penetración de luz, se calculó el porcentaje (%) de luz disponible por cada metro de profundidad en la columna de agua, asumiendo que la luz disponible en la superficie del agua es de 100%. Además, se determinó la razón de disminución en intensidad de luz con incremento en la profundidad a través de la columna de agua, conocido como el coeficiente de extinción (K), el cual se

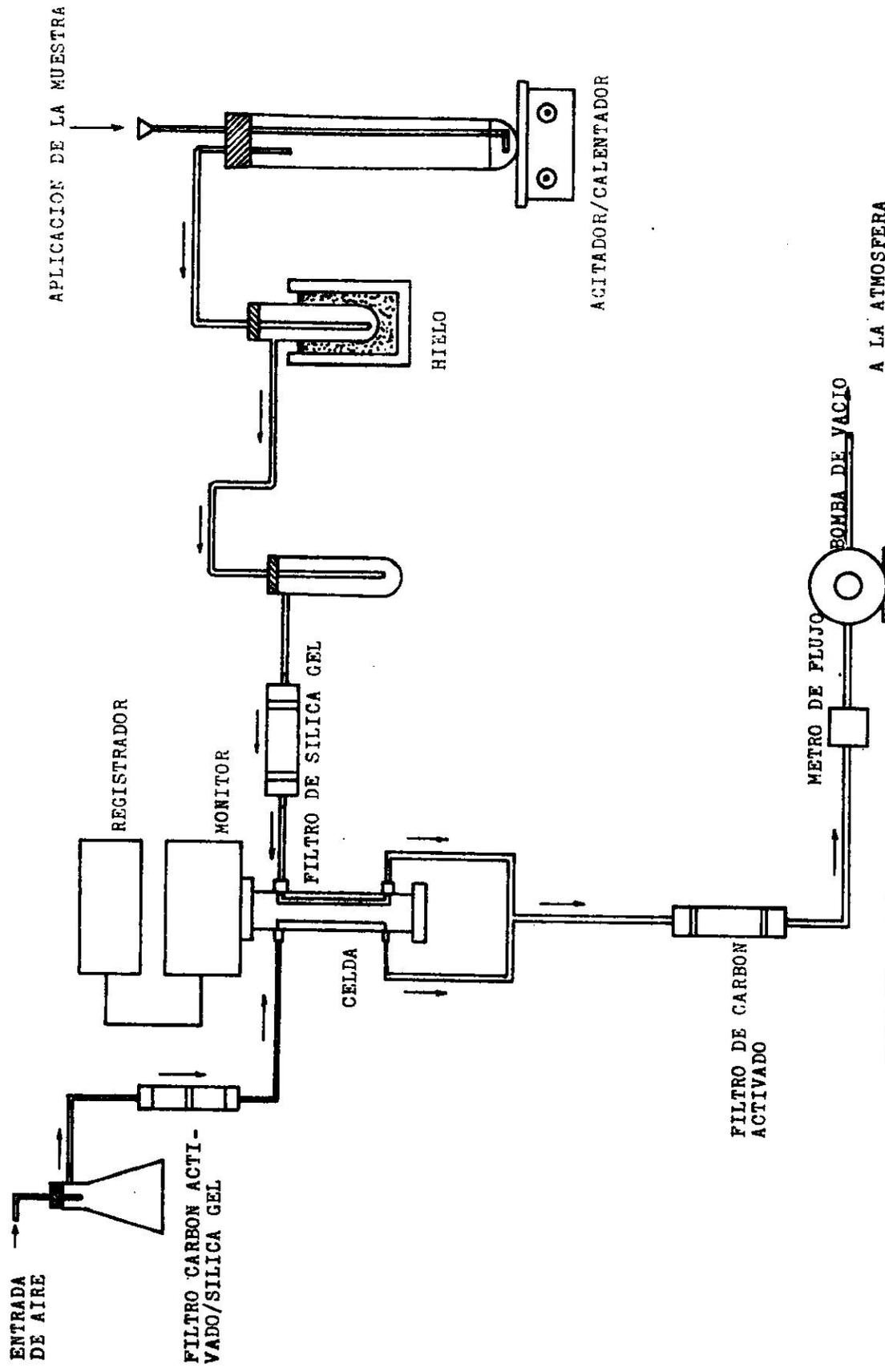


FIG. 10 REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL SISTEMA CONFECCIONADO PARA EL ANALISIS DE MERCURIO EN AGUA

expresa como:

$$K = \frac{2.30 (\log Id_1 - \log Id_2)}{d_2 - d_1}$$

donde:

Id_1 = intensidad de luz a la profundidad d_1

Id_2 = intensidad de luz a la profundidad d_2

d_1 = profundidad inicial

d_2 = profundidad máxima

Mientras más alto el valor de K, menos será la transparencia y viceversa. Finalmente la zona fótica o transparencia del agua se determinó utilizando el plato Secchi.

En la última fase del estudio (objetivo primario C), muestras de los jacintos de agua de las regiones del Lago Carraízo y del Río Grande de Loíza fueron tomadas, drenadas, pesadas, rotuladas y empacadas en bolsas de plástico, preservadas en hielo y transportadas rápidamente al laboratorio para determinarles el porcentaje (%) por peso seco, el % de carbono orgánico total (TOC), el % de nitrógeno y fósforo total (TKN, TP), el contenido calórico, el % de azufre (S), la detección de metales pesados Cd, Pb, Mn y Cu absorbidos en sus tejidos y el contenido de cenizas. Todos estos análisis se efectuaron en cuatro (4) secciones distintas dentro de la morfología del jacinto de agua, a saber:

- a) raíces
- b) peciolo
- c)seudolámina
- d) homogenizado (raíces, peciolo yseudolámina)

El % de componentes por peso seco se determinó sometiendo las muestras de jacinto de agua al calor, a una temperatura de 60°C por tres días y vueltas a pesar. A paso seguido, cada sección de los jacintos fue pulverizada en un molino Wiley usando un tubo de pulverización de 40µ. El % de carbono orgánico total se calculó de acuerdo a *Instruction And Procedures Manual*, de la Oceanographic International, 1977, utilizando un analizador de carbono, modelo 524B; el % de nitrógeno total (TKN) se determinó por el método Macro Kjeldahal, según Jackson (1958), del cual se obtiene el contenido de proteína cruda multiplicando el TKN por el factor 6.25; el % de fósforo total (TP) se detectó por el método *vanadato-molibdato*, según Chapman & Pratt (1961); el contenido calórico se midió por el método de combustión adiabática calorimétrica descrito por Daniels *et al.*, (1970) y en *Oxigen Bomb Calorimetry And Combustion Methods*, de la Parr Instruments Co., (1970); el % de azufre se determinó indirectamente mediante el lavado cuantitativo de los residuos ácidos de la combustión calorimétrica de cada muestra y pasado por el método turbidimétrico para la detección de sulfato (SO_4^{-2}), según *Standard Methods*, 14ta. ed. La detección de los metales pesados Cd, Pb, Mn y Cu absorbidos en los tejidos del jacinto de agua se llevó a cabo de acuerdo al método de Ganje & Page (1974) y los métodos e instrumentación descritos para la espectrofotometría de absorción atómica descrita con anterioridad. Por último, el contenido de cenizas se obtuvo incinerando las muestras a 550°C por seis (6) horas, según Boyd (1968).

RESULTADOS Y DISCUSION

I) PRODUCTIVIDAD DEL JACINTO DE AGUA:

Productividad neta

La razón de producción de nueva materia orgánica en un organismo fotosintético está dada por la productividad neta y la reproducción vegetativa a la cual el organismo se desarrolla en su ambiente natural. Estos, a su vez, responden a las influencias ambientales a las cuales la planta se enfrenta en su habitat.

Puerto Rico, a diferencia de los países subtropicales, disfruta de un clima tropical durante todo el año, lo que permite que las condiciones climatológicas perduren a través del año, por lo tanto, creándose los factores propicios para que el jacinto de agua, *Eichhornia crassipes*, se establezca permanentemente en nuestras reservas de agua potable (lagos), provocando serios problemas al sistema ecológico.

Los resultados de la primera parte de esta fase se ilustran en la Tabla 3. Estos resultados se basan en la observación de cuarenta y siete (47) jacintos de agua por un período de veinte y siete (27) días, dentro del cual se efectuaron nueve (9) visitas al campo. Estas visitas produjeron nueve (9) pesajes por cada planta, a través de todo el experimento. La tabla expresa la distribución de los jacintos de agua expresada en gramos por planta por día (g/p/d) relacionada al número de jacintos de agua (frecuencia) en cada intervalo de

clase. Esta distribución arroja una productividad promedio de 9.76 g/p/d (peso húmedo), variando desde 4.1 a 15.42 g/p/d. Por otro lado, la frecuencia mayor de la distribución recayó en el intervalo de clase de 5.810 a 7.502 g/p/d (peso húmedo) con un total de 13 observaciones, que representó un 27.7% del total de los jacintos examinados (fig. 11). Siendo ésta la clase modal, el valor de 6.52 g/p/d representa la moda de toda la distribución. Tomando la media aritmética

TABLA 3:

DISTRIBUCION DE AUMENTO EN BIOMASA POR PLANTA
 POR UNIDAD DE TIEMPO DEL JACINTO DE AGUA EN
 EL LITORAL OESTE DEL LAGO CARRAIZO, PUERTO RICO

AUMENTO EN BIOMASA g/p/d	FRECUENCIA
0.73 - 2.422	2
2.423- 4.116	5
4.117- 5.809	5
5.810- 7.502	13
7.503- 9.196	2
9.197-10.889	2
10.890-12.582	2
12.582-14.276	5
14.277-15.989	1
15.970-17.662	2
17.663-19.356	6
19.357-21.050	2
TOTAL	47**

**Se utilizaron 47 de los 50 jacintos originalmente establecidos por estar 3 de éstos en estado detrimental al finalizar el estudio.

$\bar{X} = 9.76 \text{ g/p/d}$ 172 kg/ha/d
 $N = 47$ 0.172 tm/ha/d
 $S_x = 5.66$
 $S_{\bar{x}} = 0.83$
 $X_{\min} = 0.73$
 $X_{\max} = 21.05$
 $M_o = 6.52 \text{ g/p/d}$

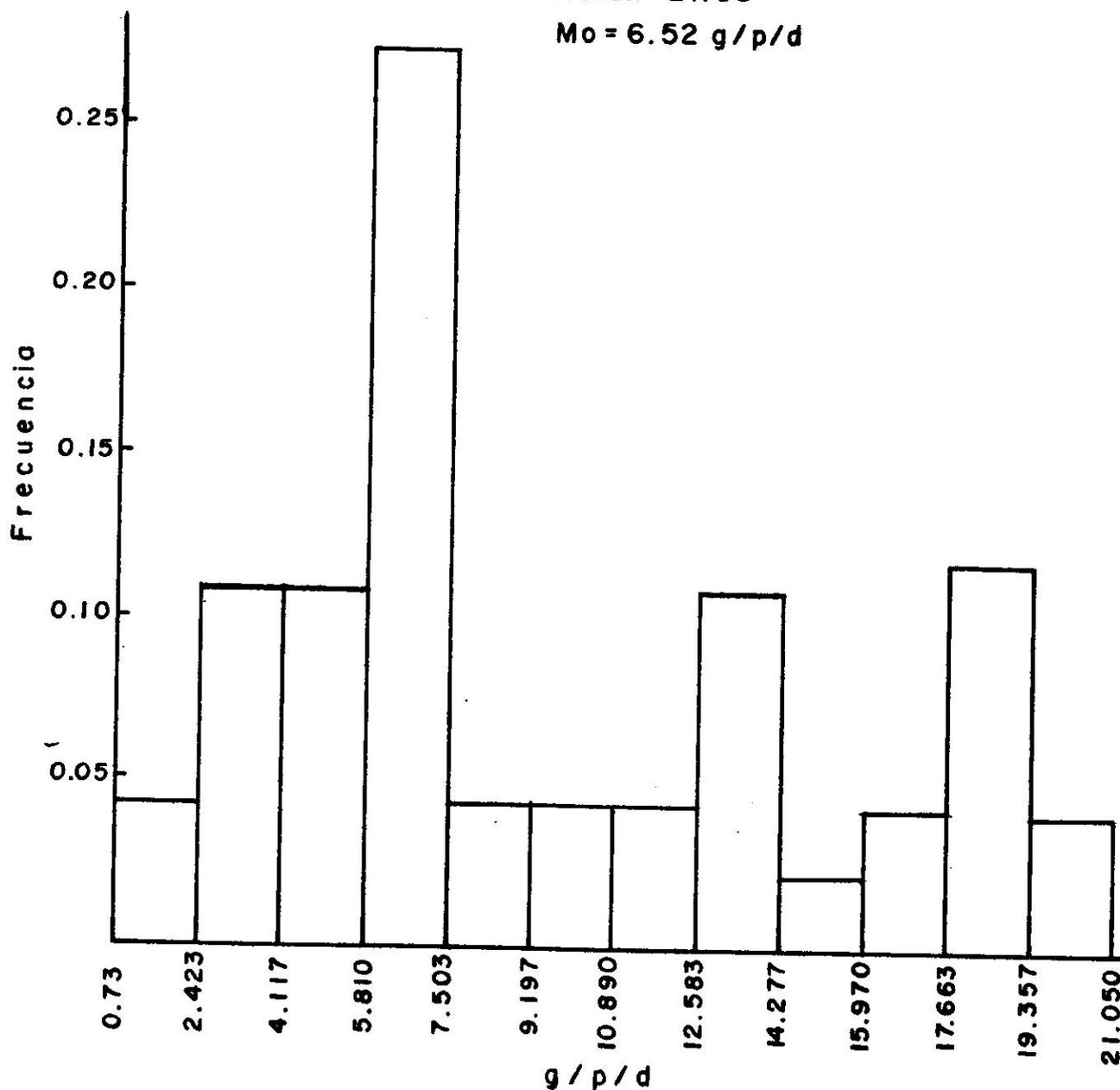


FIG. 11 HISTOGRAMA DE LA DISTRIBUCION DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS JACINTOS DE AGUA POR PLANTA EN EL LAGO CARRAIZO

como el valor representativo de la distribución (9.76 g/p/d), que al multiplicarlo por el promedio de plantas por metro cuadrado para el Lago Carraízo (17.62 plnts/m²)*, resulta en la productividad del jacinto por unidad de área por unidad de tiempo (g/m²/d). Para el Lago Carraízo, la productividad del jacinto de agua demostró ser en promedio de 172.0 g/m²/d, lo que dista del valor reportado por Villamil *et al* (1979) de 216.39 g/m²/d de jacintos cosechados en efluentes de una planta de tratamiento secundaria en Puerto Rico y del valor máximo hallado por Earle (según Penfound, 1956) de 315.7 g/m²/d en Nueva Orléans, Louisiana. Esta marcada diferencia en productividad con los valores reportados por Earle (según Penfound, 1956) podría deberse en su mayor parte a la disponibilidad de nutrientes en la columna de agua y a la alta predación a que estos jacintos fueron sometidos durante el período de estudio, ya que observaciones visuales en el campo demostraron que tanto el mozambique de Puerto Rico, *Quiscalus niger*, como la gallareta, *Gallinula chloropus*, ejercían una marcada predación sobre la pseudolámina de los jacintos de agua. Además, a medida que progresaba el estudio, se fueron notando en gran parte de la población de jacintos de agua mordeduras en forma de "media luna" en la parte inferior de los flotadores, similares a las descritas por Yount & Crosman (1970), atribuidas, en ese caso, a la tortuga del género *Pseudemys* sp. En el caso del Lago

* Promedio aproximado

Carraízo, el causante de esta predación en los flotadores podría atribuírsele al pez herbívoro *Tilapia mosambica*, cuya población está bien establecida en el Lago (Ortiz, 1981). Por último, a una razón de productividad de 172 g/m²/d, resultaría en un rendimiento de 172 kg/ha/d de jacintos en peso húmedo de biomasa (9.632 kg/ha/d, peso seco)*, equivalentes a 0.172 tm/ha/d (0.009632 tm/ha/d peso seco) para el jacinto promedio del Lago Carraízo.

Existe una marcada relación entre el porcentaje (%) de aumento en biomasa del jacinto de agua y el tiempo transcurrido (T) desde el primer pesaje o pesaje original (W₀). Al mismo tiempo, el factor de incremento diario (X) es función de ambos, y este se obtiene para demostrar a qué razón la planta debe crecer entre dos fechas para aumentar al peso final (W_t) hallado en la última fecha (Bock, 1966). Esta razón de incremento en biomasa diaria se expresa mediante la fórmula de crecimiento geométrico, a saber:

$$W_t = W_0 X^T$$

donde:

W_t = peso de la planta al final del experimento

W₀ = peso de la planta al inicio del experimento

T = número de días entre pesadas

X = factor de incremento diario

*En base a un 5.63% de composición por peso seco, el que se discutirá en la última parte del estudio.

De aquí, se obtiene X, para cualquier número de días T.

La Tabla 4 expresa la relación entre el % de aumento desde la última fecha, el % de aumento con respecto al peso original y el factor de incremento diario para todos los 47 jacintos de agua envueltos en el estudio. Cada uno de los valores expresados representa el promedio diario con respecto a los 47 jacintos de agua utilizados en el experimento. En la columna denominada como "% de aumento último pesaje", el incremento en peso entre fechas fue dividido entre el peso de la planta con respecto a la fecha anterior, multiplicado a su vez por 100 para reflejar el porcentaje de aumento. Este es un indicador de la variación con respecto a la ganancia del peso del jacinto de agua y las condiciones ambientales a la que éste se enfrenta cada número T de días. La columna denominada "% aumento peso original", el peso inicial de las plantas en el estudio fue restado a los pesos registrados en cada una de las fechas subsiguientes, que al ser divididas por el peso original y multiplicado por 100, resulta en el % de aumento durante el experimento. Este es una medida de incremento total en biomasa de las plantas durante todo el período de estudio.

TABLA 4: PORCENTAJES DE INCREMENTO EN BIOMASA Y FACTOR DE INCREMENTO DIARIO DE LA POBLACION DE JACINTOS DE AGUA EN EL LITORAL OESTE DEL LAGO CARRAIZO

FECHA	% AUMENTO ULTIMO PESAJE	% AUMENTO PESO ORIGINAL	FACTOR INCREMENTO DIARIO
25/III/80	**	**	**
27/III/80	1.635	1.635	1.00473
31/III/80	13.74	15.32	1.01993
2/IV/80	4.22	19.92	1.02086
7/IV/80	22.55	54.20	1.03106
9/IV/80	10.78	66.70	1.03270
11/IV/80	8.89	79.22	1.03354
16/IV/80	11.85	100.7	1.03085
21/IV/80	18.75	139.6	1.03113

** Fecha de comienzo del experimento.

Los resultados obtenidos demuestran que el aumento en peso húmedo de las plantas comenzó casi inmediatamente. Durante los primeros 2 días, se observó un período de adaptación de las plantas, al registrarse un aumento de sólo un 1.635%. Al cabo de los siguientes 6 días, este porcentaje aumentó a un 19.92% respecto al peso inicial, hasta registrarse un valor máximo de un 139.6% de aumento en biomasa comparado con el peso inicial en 27 días, lo cual responde significativamente a una expresión lineal (fig. 12). Por otro lado, la variación marcada entre los % de aumento con respecto al último pesaje podría obedecer a una serie de influencias o condiciones ambientales y, más específicamente, a la predación a las cuales fueron sometidas las plantas durante el período de estudio. Aunque estos datos sugieran que existe un mecanismo de control natural transitorio de la población del jacinto de agua, también queda demostrada la capacidad del jacinto de recuperarse y superar la condición de pérdida de peso en sus tejidos, al registrarse un incremento en el % de aumento con respecto al último pesaje después de una baja transitoria de éste, sumado a la relación lineal que existe entre el número de días y el % de aumento en peso comparado con el peso inicial. Estos factores fisiológicos, junto con la disponibilidad de nutrientes, son determinantes en el establecimiento y dominio de esta planta flotante en la superficie de nuestras reservas de agua potable.

El factor de incremento diario muestra un patrón similar al establecido por el % de incremento en peso comparado con el peso inicial. Durante los primeros 2 días, el factor de incremento

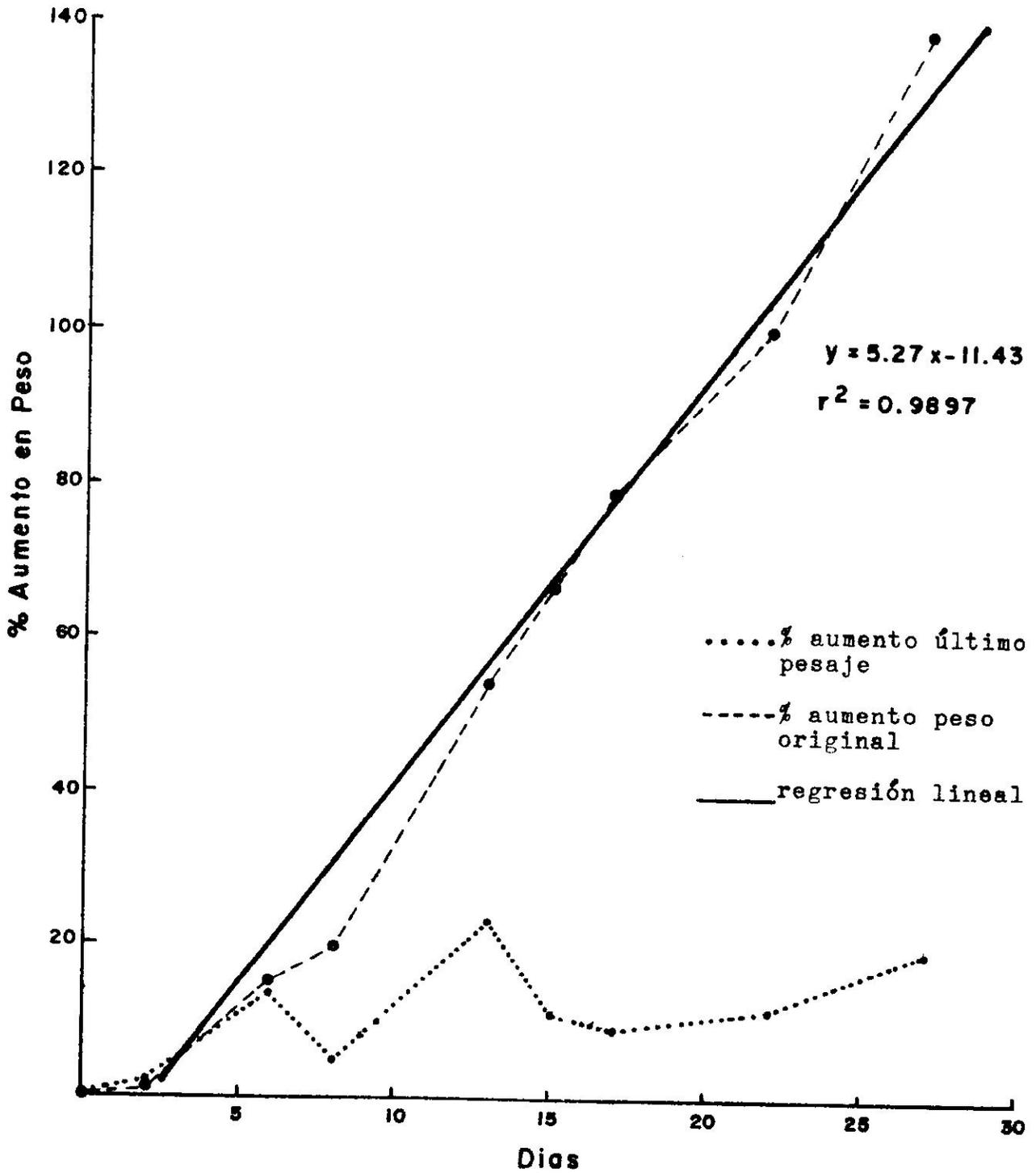


FIG. 12 GRAFICA ILUSTRATIVA DEL PORCIENTO (%) DE AUMENTO EN BIOMASA POR DIA EN EL ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD DEL JACINTO DE AGUA

registró un valor mínimo de 1.00473, debido al bajo % de aumento en biomasa encontrado (fig. 12). Sin embargo, a medida que iba incrementando el % de aumento en peso comparado con el peso inicial, el factor de incremento diario aumentaba proporcionalmente, registrando el valor más alto a los 17 días (1.03354), mientras que para todo el período de estudio la media aritmética fue de 1.0256 (1.0157 - 1.0355), la que resultó similar con el valor promedio reportado por Rushing (1974) de 1.026 para el Lago Carraízo y el valor estacional hallado por Bock (1966) de 1.025 en California. Sin embargo, este valor promedio resultó inferior a los reportados en Sudán por Pettet (1964) de 1.125; en Jamaica por Bock (1966) de 1.104 y en la Florida por Seaman (según Bock, 1966) de 1.104. Por último, haciendo uso del factor de incremento diario para el jacinto de agua en el Lago Carraízo determinado en el presente estudio, (1.0256) en promedio el jacinto de agua duplica su biomasa cada 28 días. Esto justifica cómo esta planta vascular acuática en condiciones naturales, posea el potencial de ser la especie dominante en la superficie de los cuerpos de agua interiores en poco tiempo, debido a su alta productividad neta y su alta razón de incremento en biomasa diario.

Producción, Predación y Mortalidad de Seudoláminas (hojas):

La seudolámina u hoja del jacinto de agua representa la sección morfológica más importante dentro de su anatomía, ya que protegen el rizoma contra la acción de los yerbicidas y la desecación, como también les proporcionan un medio de dispersión al actuar como velas. Sin embargo, su mayor

importancia estriba en ser el centro atrapador de energía solar para la fotosíntesis, lo que resulta ser un aspecto significativo en la productividad de la planta. Por tal motivo, la producción, predación y mortalidad natural de las hojas del jacinto de agua por unidad de tiempo representan los factores que determinarán la razón de crecimiento de la planta en cualquier cuerpo de agua interior y más específicamente, en el Lago Carraízo. Primeramente, la producción de hojas por día aumentó a una razón exponencial y proporcionalmente al aumento en peso (fig. 13). En promedio, una planta producirá 7.54 hojas/día, lo que demuestra que una planta promedio dará origen potencialmente a un total de 140,973,290 hojas por año. Esta alta producción de hojas por año provee a las plantas con un extraordinario sustrato para generar una productividad significativamente alta para una planta acuática flotante. El patrón de producción de hojas por día comprueba la capacidad que el jacinto de agua posee en cuanto a productividad de hojas se refiere. Durante los primeros dos días, sólo se registró un aumento de un 14.06% de incremento en el número de hojas (Tabla 5). A los 6 días subsiguientes, se registró un 30.0% de incremento en el número de hojas con respecto al número inicial.

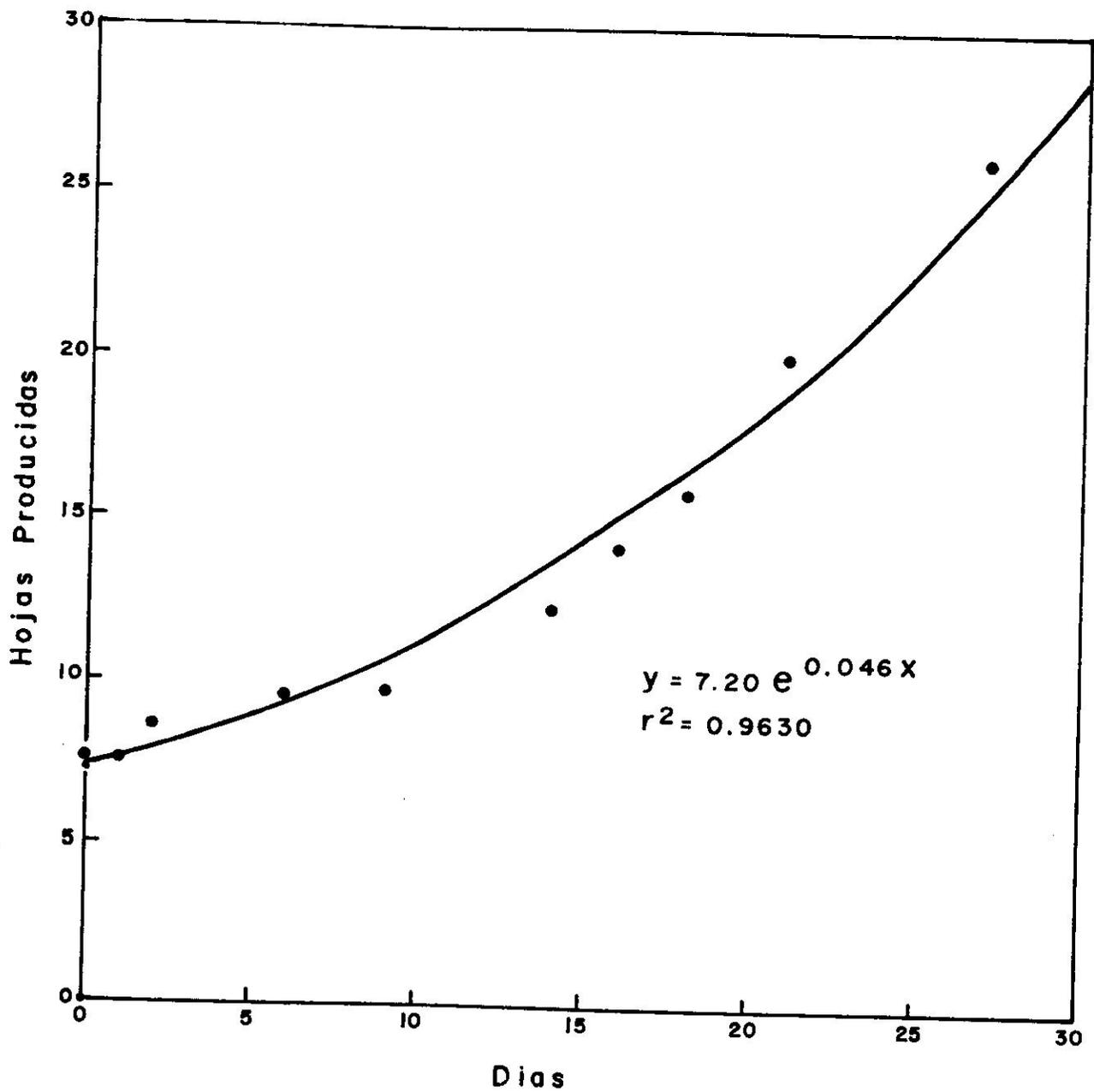


FIG. 13 RELACION EXPONENCIAL ENTRE EL NUMERO DE HOJAS PRODUCIDAS POR PLANTA POR UNIDAD DE TIEMPO

TABLA 5: PRODUCCION DE HOJAS POR DIA Y PORCENTAJES DE AUMENTO DE HOJAS CON RESPECTO AL NUMERO DE HOJAS INICIALES DEL JACINTO DE AGUA, LAGO CARRAIZO, PUERTO RICO

DIA NUMERO	NUMERO DE HOJAS PROMEDIO	% AUMENTO
0	7.54	-
2	8.60	14.06
6	9.52	26.26
8	9.8	30.0
13	12.28	62.86
15	14.14	87.53
17	15.86	110.4
22	21.06	179.3
27	26.14	246.7

Al final del estudio, el número de hojas del jacinto promedio aumentó en un 246.7% en 27 días, lo que resulta en un aumento dramático en el número de hojas producidas por el jacinto de agua.

La predación ejercida por los herbívoros a las hojas del jacinto de agua aumentó de igual manera con el aumento en el número de hojas producidas. A diferencia del crecimiento exponencial de la seudolámina, la predación incrementó con el aumento en el número de hojas por 13 días (Tabla 6) hasta alcanzar un equilibrio entre los días 16 y 18 y después declinar (fig. 14), lo que refleja que esta predación se comporta como una expresión cuadrática. Esto significa que a una razón de producción promedio de 7.54 hojas/d por planta, el 38.9% de

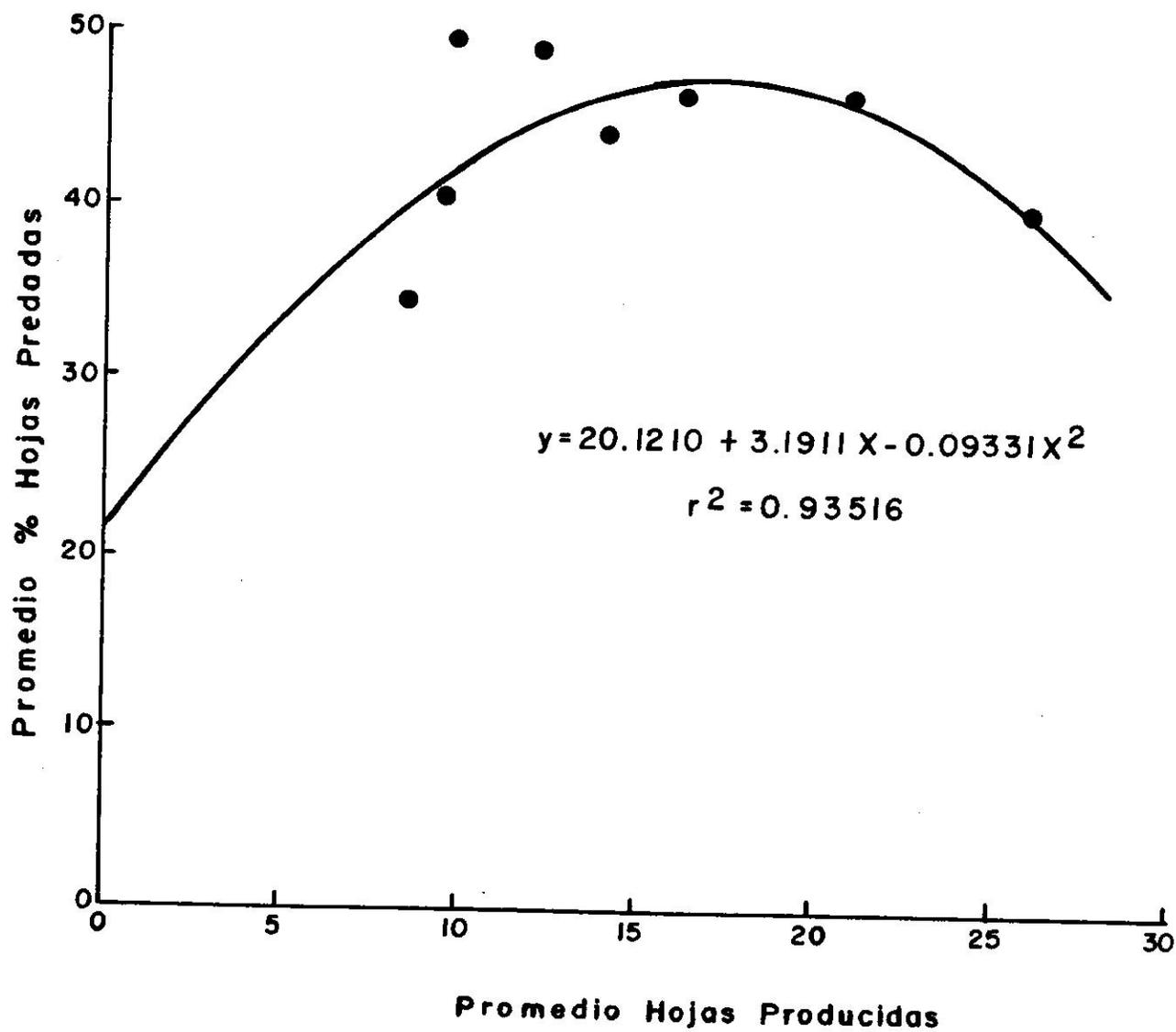


FIG. 14 RELACION ENTRE EL PROMEDIO DE HOJAS PRODUCIDAS POR DIA Y EL PORCIENTO DE ESAS HOJAS QUE SON PREDADAS DEL JACINTO DE AGUA

TABLA 6: RELACION ENTRE LA PRODUCCION DE HOJAS Y EL % DE ESAS HOJAS QUE FUERON PREDADAS AL JACINTO DE AGUA, LAGO CARRAIZO, PUERTO RICO

DIA NUMERO	NUMERO DE HOJAS PROMEDIO	% HOJAS PREDADAS
0	7.54	-
2	8.60	34.96
6	9.52	39.86
8	9.80	49.96
13	12.28	49.06
15	14.14	44.14
17	15.86	44.6
22	21.06	46.52
27	26.14	39.96

estas hojas producidas (2.94h) será predada, lo que expresado a las 14,973,290 hojas producidas al año, dará como resultado que aproximadamente 54,810,417 de esas hojas producidas sean predadas anualmente. Aunque este alto porcentaje de predación de las hojas producidas puede manifestar una baja significativa en el incremento de biomasa por día, cabe mencionar que este índice es particular para cada lugar y puede estar sujeto a variaciones estacionales en la población avícola y de insectos herbívoros. Bajo condiciones controladas, esta situación no es de esperarse, lo que reducirá a un mínimo la predación natural y aumentará el rendimiento del jacinto en términos de su productividad neta.

La mortalidad de las hojas del jacinto de agua resultó mínima con respecto a la producción de hojas por día. En total, un promedio de 10.54 hojas murieron por planta durante el período de estudio (6.57 - 14.51), lo que equivale a una mortalidad promedio de 0.39 hojas muertas por planta por día (0.24 - 0.54). Esto representa una mortalidad de 142.4 hojas por año, que comparado con la producción de hojas al año (140,973,290) resulta en una relación de 1 hoja muerta por cada 989,981 hojas producidas (1:989,981) o un equivalente de 1.010×10^{-6} veces las hojas producidas por año. Aunque esta razón de hojas muertas a hojas producidas luzca desproporcionada, cabe el mencionar que esta relación resultó en base a los datos obtenidos durante 27 días de observación. Sin embargo, dicha desproporción podría explicar en parte la alta productividad del jacinto de agua en ambientes favorables para su desarrollo. Por otro lado, no se halló una correlación significativa entre el % de las hojas muertas respecto al número de hojas producidas por día y el tiempo transcurrido, ya que éste resultó ser extremadamente variable durante todo el período de estudio (fig. 15). Esta variabilidad en el % de hojas muertas sugiere que el jacinto de agua no lleva una razón uniforme de mortalidad de hojas, y que a largo plazo, responda a la predación a la cual están sometidas las hojas continuamente (fig. 15). Dicho de otro modo, la mortalidad de las hojas estará influenciada o acelerada por la predación a la cual las plantas sean sometidas en adición a la tolerancia que tengan las hojas a la variación en las condiciones ambientales, tales como la respuesta de las

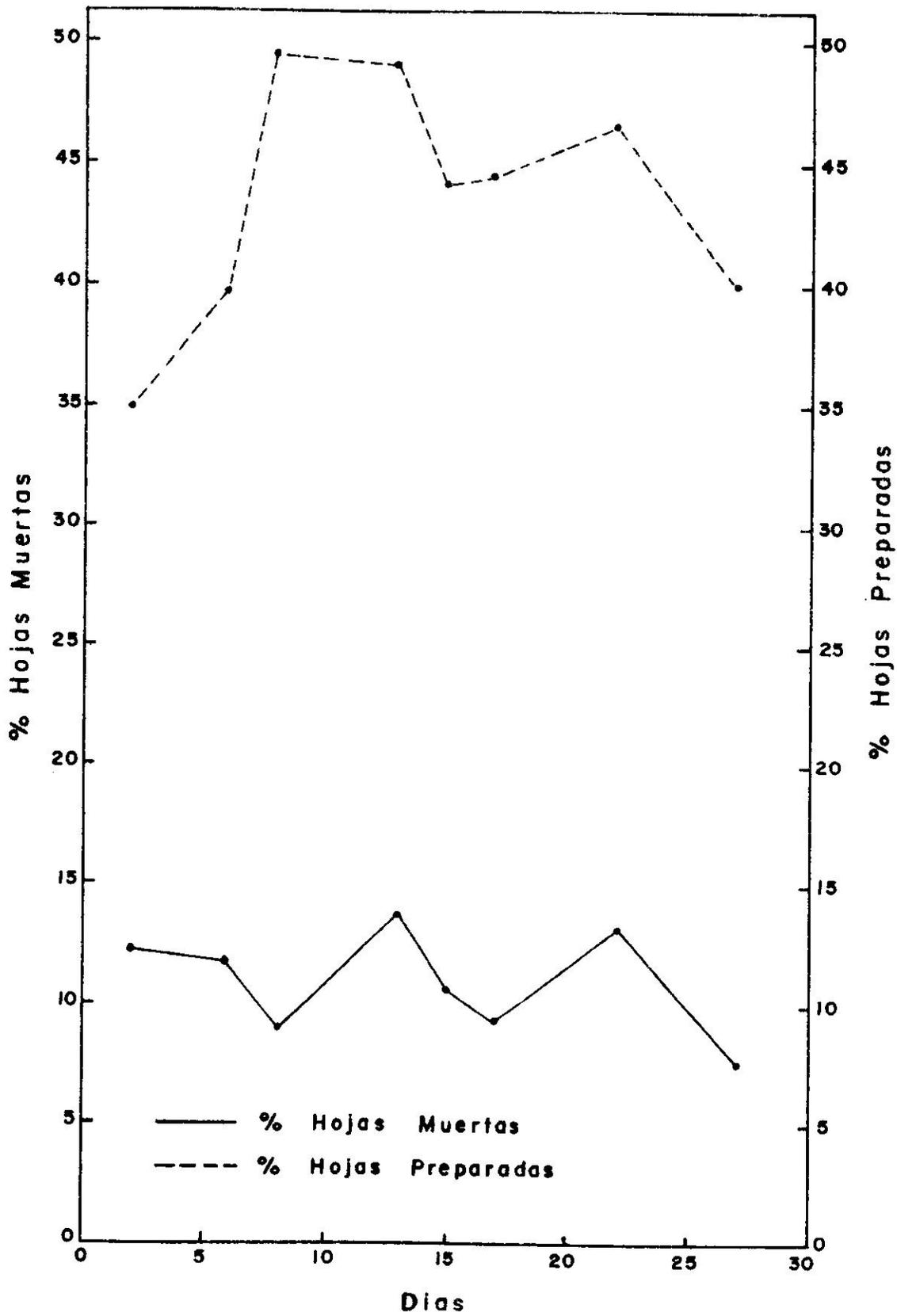


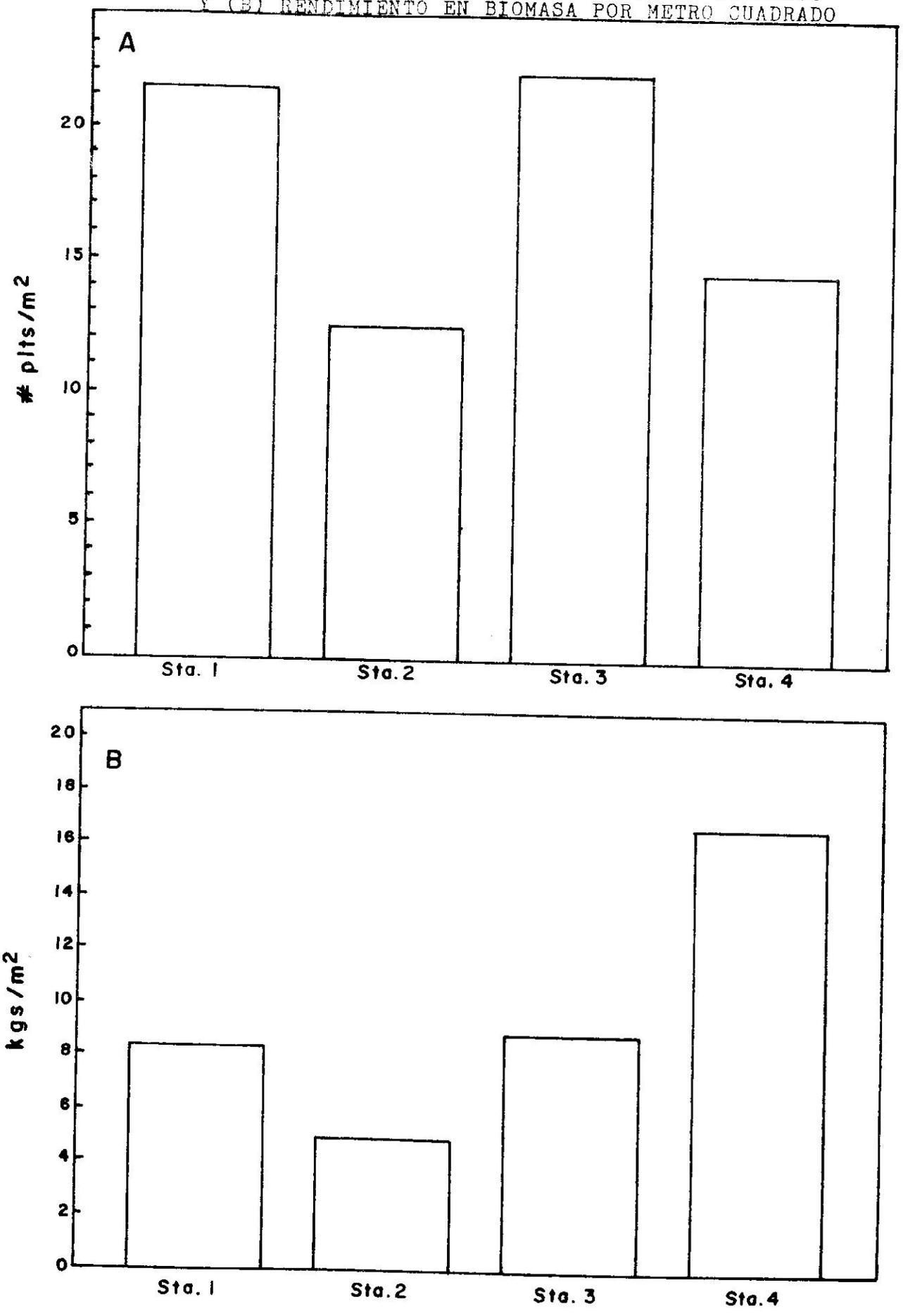
FIG. 15 VARIACION DEL PORCIENTO DE LAS HOJAS MUERTAS POR DIA CON RESPECTO AL PORCIENTO DE HOJAS PREDADAS POR DIA DEL JACINTO DE AGUA

estomas a los cambios en temperatura y humedad y a la radiación solar absorvida para la fotosíntesis (Ray, 1963). Hasta la fecha, este aspecto dentro de la fisiología del jacinto de agua aún se desconoce, lo que proporcionaría un parámetro más a considerarse en futuras investigaciones.

Densidad Específica:

La densidad o el número de jacintos de agua por unidad de área en varias estaciones del Lago Carraízo mostró diferentes patrones, tanto en el número de plantas, la cantidad de biomasa, como en la altura de cada uno de ellos a través del área de estudio. En cuanto al número de plantas se refiere, el Río Gurabo mostró el mayor número de plantas por metro cuadrado (plts/m²) con 22 (15.07 - 28.93), seguido por la región del Río Grande de Loíza, con 21.33 plts/m² (18.44 - 24.2), el Lago Carraízo, con 14.66 plts/m² (9.53 - 19.79) y, por último, la región del Río Caguitas, con 12.5 plts/m² (8.97 - 16.03). Esta distribución coloca a la región del Río Gurabo y el Río Grande de Loíza como las más productivas en términos del número de plantas por metro cuadrado (fig. 16a). Estos valores resultan por debajo del valor reportado por Villamil *et al* (1979) de 26.5 plts/m² determinado bajo condiciones controladas en Puerto Rico. Por otro lado, la cantidad de biomasa disponible por metro cuadrado muestra un patrón diferente al número de plantas por metro cuadrado. En este caso, la región del Lago Carraízo resultó con la mayor biomasa por metro cuadrado, con un valor de 16.685 kgs/m², seguido por la región del Río Gurabo con 8.999 kgs/m², la región del Río Grande de Loíza, con

FIG. 16 HISTOGRAMA DE: (A) NUM. PLANTAS/METRO CUADRADO Y (B) RENDIMIENTO EN BIOMASA POR METRO CUADRADO



8.355 kgs/m² y, por último, la región del Río Caguitas, con 4.913 kgs/m². Al igual que en el número de plantas por metro cuadrado, la región del Río Caguitas exhibió el valor menor de las regiones estudiadas (fig. 16b). Sin embargo, la biomasa obtenida en la región del Lago Carraízo (16.685 kgs/m²) representa un 46.07% superior al segundo valor máximo encontrado en la región del Río Gurabo, con 8.999 kgs/m². Este valor resultó superior al encontrado por Villamil *et al* (1979) de 10.67 kgs/m², lo que demuestra que la región del Lago Carraízo es la más productiva con respecto al rendimiento en biomasa por metro cuadrado. Esta misma proporción se establece al comparar la altura de plantas encontradas para las diferentes regiones (fig. 17), prevaleciendo el valor mayor para la región del Lago Carraízo, alcanzando una altura promedio de 101.36cm. (81.69 - 121.03 cm.), seguido por la región del Río Gurabo, con una altura promedio de 41.60 cm. (19.13 - 64.07 cm.), la región del Río Grande de Loíza, con una altura promedio de 32.79 cm (11.82 - 53.76 cm.) y, por último, la región del Río Caguitas, con una altura de 29.66 (18.48 - 40.84 cm.). El patrón observado en cuanto a la altura promedio de las plantas establece diferencias de tamaño entre las regiones, lo que obedece a la clasificación del jacinto de agua por categorías de tamaño o biotipos, según lo sugerido por Cooley & Martin (1978b) en jacintos de agua presentes en la Florida (hasta 30.48 cms., pequeño; de 60.96 a 76.2 cms., mediano y de 91.44 a 121.92 cms., super jacinto). En base a esta clasificación en biotipos, la región del Lago Carraízo está

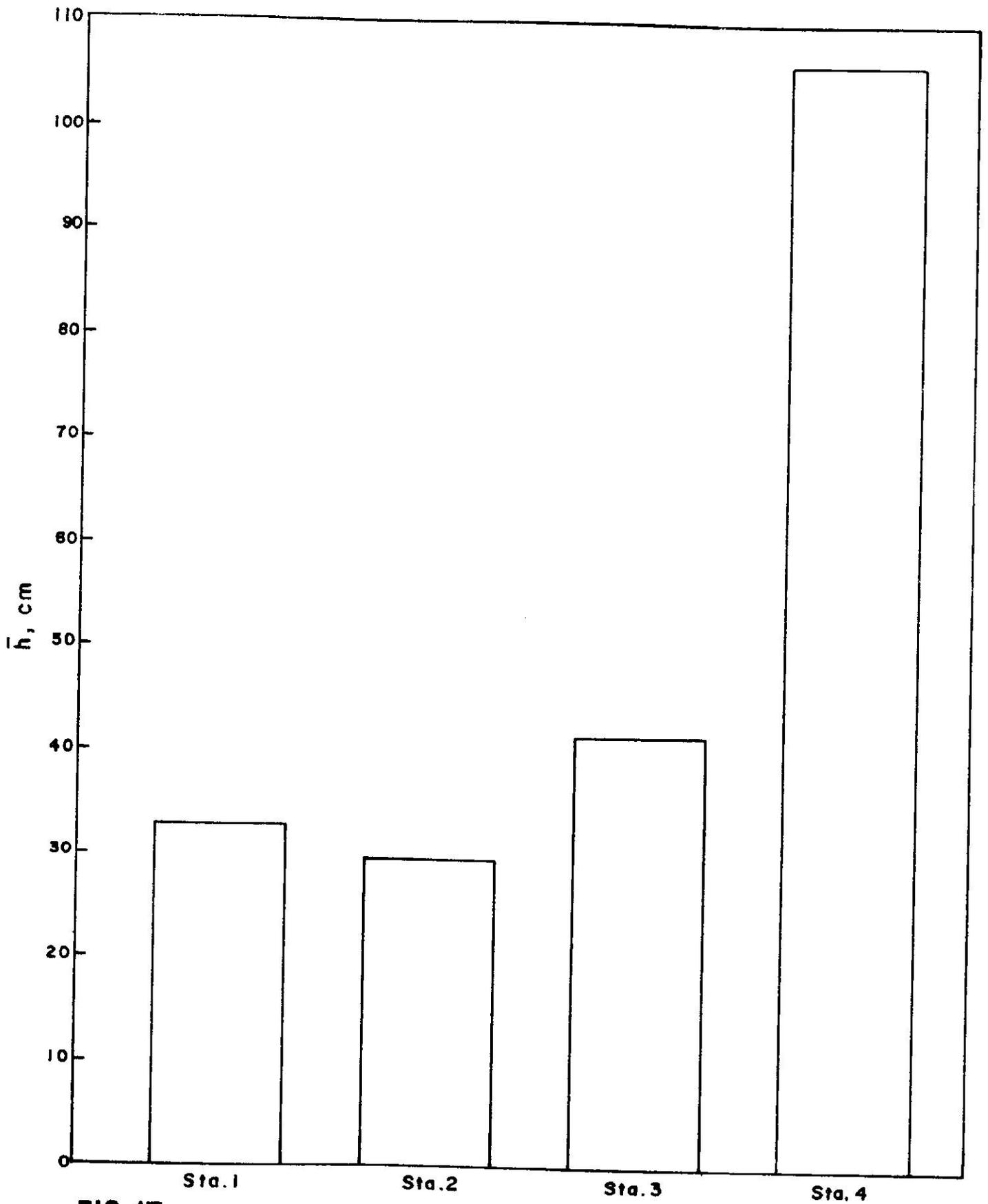


FIG.17 HISTOGRAMA DE LA ALTURA PROMEDIO DE LOS JACINTOS DE AGUA EN LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO

dominada completamente por los super-jacintos; las regiones del Río Gurabo y el Río Grande de Loíza predomina el jacinto mediano y, por último, en la región del Río Caguitas prevalece el jacinto de agua pequeño. Esta diferencia morfológica está asociada con la concentración de hierro y oxígeno disuelto respectivamente en la columna de agua, ya que se han encontrado poblaciones de jacintos de agua pequeños, medianos y super-jacintos en concentraciones de 8.0, 4.0 y 0.5 mg/l, respectivamente (Cooley & Martin, 1978b). Esto corresponde a los valores encontrados en el campo para el caso de los super-jacintos (Tabla 7), pero cabe el mencionar que en casos de brotes extensos, la concentración de oxígeno disuelto en la superficie del agua resultó baja, comparada con los valores para el jacinto mediano, lo que viene a consecuencia de la baja en la actividad fotosintética en la columna de agua y el incremento en la concentración de CO₂. Por tal motivo, se deben de desarrollar otros criterios para poder explicar por qué motivo ciertas poblaciones de los diferentes biotipos de jacintos tienden a dominar en una región en particular. Uno de los factores que pudiese explicar esta diferenciación en la fisiología del jacinto sería la edad de las plantas, la cual estará más ligada a los parámetros o factores que inhiban o favorezcan el desarrollo de los jacintos. Algunos de estos factores pudiesen ser la concentración de ciertos metales o la disponibilidad de nutrientes, respectivamente. Relacionado con este aspecto, una región que merece especial atención es la región

TABLA 7: CONCENTRACIONES DE OXIGENO EN LAS DIFERENTES REGIONES EN QUE PREDOMINAN EL JACINTO MEDIANO Y EL SUPER JACINTO, RESPECTIVAMENTE LAGO CARRAIZO, PUERTO RICO

PARAMETRO	ECOTIPO	
	MEDIANO ¹	SUPER ²
Oxígeno disuelto, mg/l	0.85	0.74
Temperatura, °C	22.37	22.83

1 Río Grande de Loíza

2 Lago Carraízo

del Río Caguitas, ya que ésta mostró los valores menores con respecto al número de plantas, biomasa y altura de los jacintos de agua respectivamente. Este acontecimiento sugiere que el jacinto de agua en esa región se encuentra bajo una constante tensión que limita el máximo desarrollo en su productividad, que al mismo tiempo, puede atribuirse a las condiciones ambientales predominantes, y más específicamente, a la calidad del agua en su cuenca. Este aspecto y su relación al jacinto de agua será discutido en detalle en la segunda parte de la investigación.

Como último aspecto dentro de la productividad y la razón del crecimiento del jacinto de agua, se encontró una relación significativa entre el largo total de cada planta y su peso húmedo para todos los jacintos de las distintas regiones del Lago Carraízo (fig. 18). Esta relación lineal demuestra la estrecha asociación que guarda el tamaño de la planta y su biomasa, independientemente

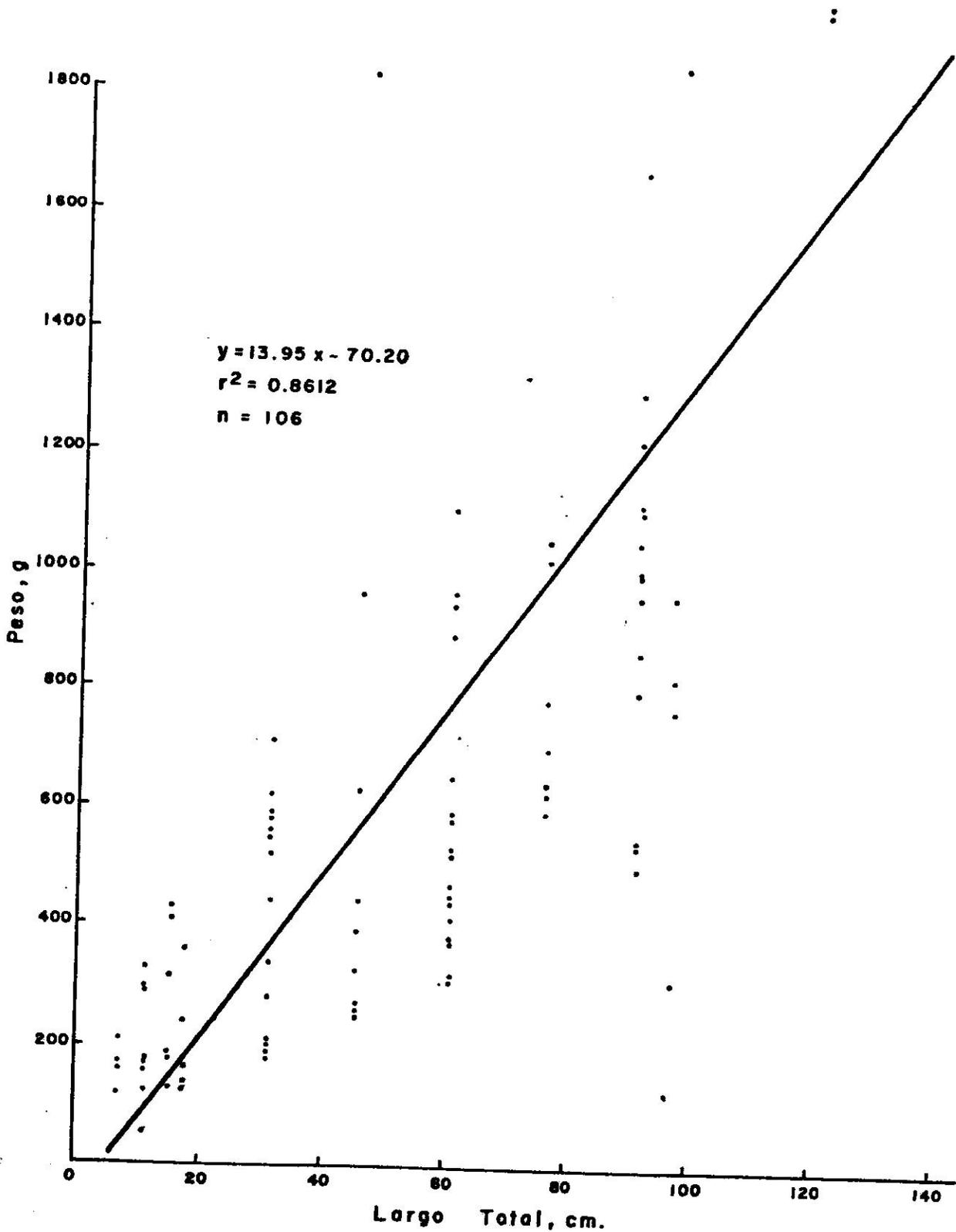


FIG.18 Relación del Largo total con el Peso del jacinto de agua.

a qué biotipo pertenezca. Además, esta relación sugiere ser una característica importante para la hidrodinámica de la planta y su capacidad para flotar. En promedio, el jacinto de agua en el Lago Carraízo guarda una relación de 1:12.54 (cm:g) de tamaño a peso. Esta relación se mantiene constante sin importar su tamaño, lo que añade otra característica particular de la especie. Por otro lado, la relación lineal entre el peso y el tamaño establece que el peso de la planta es proporcional a su tamaño y viceversa. En base a esto, el peso húmedo aproximado de los jacintos de las diferentes regiones de las distintas regiones del Lago Carraízo puede ser determinado en base a la altura promedio que posea. Para la región del Lago Carraízo, el jacinto promedio pesará alrededor de 1343.4g (1073.3 - 1613.4); aquellos que pertenezcan a la región del Río Gurabo pesarán aproximadamente 522.9g (214.5 - 831.5); los jacintos de la región del Río Grande de Loíza pesarán 401.9g (114.2 - 689.8) y, por último, los pertenecientes a la región del Río Caguitas poseerán una biomasa promedio de 359.04g (205.5 - 512.5). En conclusión, la presencia de los tres diferentes ecotipos de jacinto de agua sugieren una estrecha relación entre las condiciones ambientales y su desarrollo. En otras palabras, el jacinto de agua responderá en términos del tamaño que pueda alcanzar, a la calidad del agua del medio en que domina. Este hecho coloca al jacinto de agua como un indicador biológico del estado trófico en que se pudiese encontrar un cuerpo de agua en

relación a la cantidad de jacintos por unidad de área, y más específicamente, al tamaño que éstos puedan alcanzar en el medio. El análisis posterior a esta fase del estudio de los parámetros químico-físicos más importantes sobre la calidad de las aguas a lo largo de la cuenca hidrográfica del Río Grande de Loíza se asociará con el crecimiento diferencial y profuso de los tres biotipos de jacinto de agua. De esta manera, se comprobará finalmente la causalidad y distribución de la población de jacintos en este ecosistema.

PARAMETROS QUIMICOS, BIOQUIMICOS Y FISICOS MAS IMPORTANTES DE LOS TRIBUTARIOS PRINCIPALES Y DEL LAGO CARRAIZO

El estado trófico o de productividad de las reservas de agua dependerá de la calidad del agua de los tributarios que lo alimentan, lo que está íntimamente relacionado a las actividades y manejo cultural de la cuenca hidrográfica. Por lo tanto, la determinación de la calidad de las aguas de los tributarios es primordial en la comprensión y entendimiento de las características del embalse. En el caso del Lago Carraízo, la calidad del agua en el Lago estará ligada a los insumos que reciba de sus tributarios principales. En base a este aspecto, la discusión de los resultados se llevará a cabo por los parámetros químicos, bioquímicos y físicos determinados en el estudio por cada tributario (estación) en adición al Lago Carraízo, respectivamente.

Nitrógeno y Fósforo Total (TKN, TP):

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo total (TKN, TP) en las estaciones 1, 2, 3 y 4 se muestran en la Tabla 8. Ninguna de las estaciones muestra un patrón similar de distribución en la columna de agua de ambos nutrientes. En el caso del Río Grande de Loíza, el nitrógeno y fósforo total muestran un patrón inverso de distribución en la columna de agua. En el caso del nitrógeno total, la concentración tanto en la superficie como en el fondo es similar, con valores promedio de 0.4969 (± 0.2558) y 0.4965 (± 0.2720) mg/l respectivamente, lo que sugiere una distribución uniforme en la columna de agua (Fig. 19b).

TABLA 8: CONCENTRACIONES PROMEDIO, MAXIMAS, MINIMAS Y DESVIACION ESTANDAR (DE) DE LOS VALORES DE TKN Y TP EN LA COLUMNA DE AGUA DE LOS TRIBUTARIOS PRINCIPALES Y LA ESTACION DEL LAGO CARRAIZO

ESTACION	PROFUNDIDAD m	TKN, mg/l			TP, mg/l				
		PROM.	MAX.	MIN.	DE	PROM.	MAX.	MIN.	DE
Río Grande de Loíza	0.5	0.4969	0.8197	0.210	0.2558	0.5389	1.690	0.0733	0.6636
	1.0	0.4965	0.9594	0.273	0.2720	0.2240	0.4117	0.1126	0.1323
Río Caguitas	0.5	6.285	9.154	1.200	3.53	1.0654	3.312	0.1014	1.350
	1.0	8.6174	14.47	1.845	5.522	1.380	5.0644	0.0745	2.119
Río Gurabo	0.5	2.903	6.394	0.1366	2.382	0.3026	1.317	0.0338	0.501
	2.0	1.4419	3.907	0.305	1.467	0.8278	2.445	0.1126	0.856
	4.0	2.1782	4.400	0.1912	1.676	0.7643	2.997	0.0817	1.124
Lago Carraízo	0.5	1.2440	3.169	0.1366	1.195	1.0833	2.297	0.0338	1.184
	5.0	1.2040	3.0061	0.330	1.069	1.119	3.234	0.0338	1.147
	10.0	1.740	3.289	0.448	1.163	1.850	9.543	0.0310	3.80

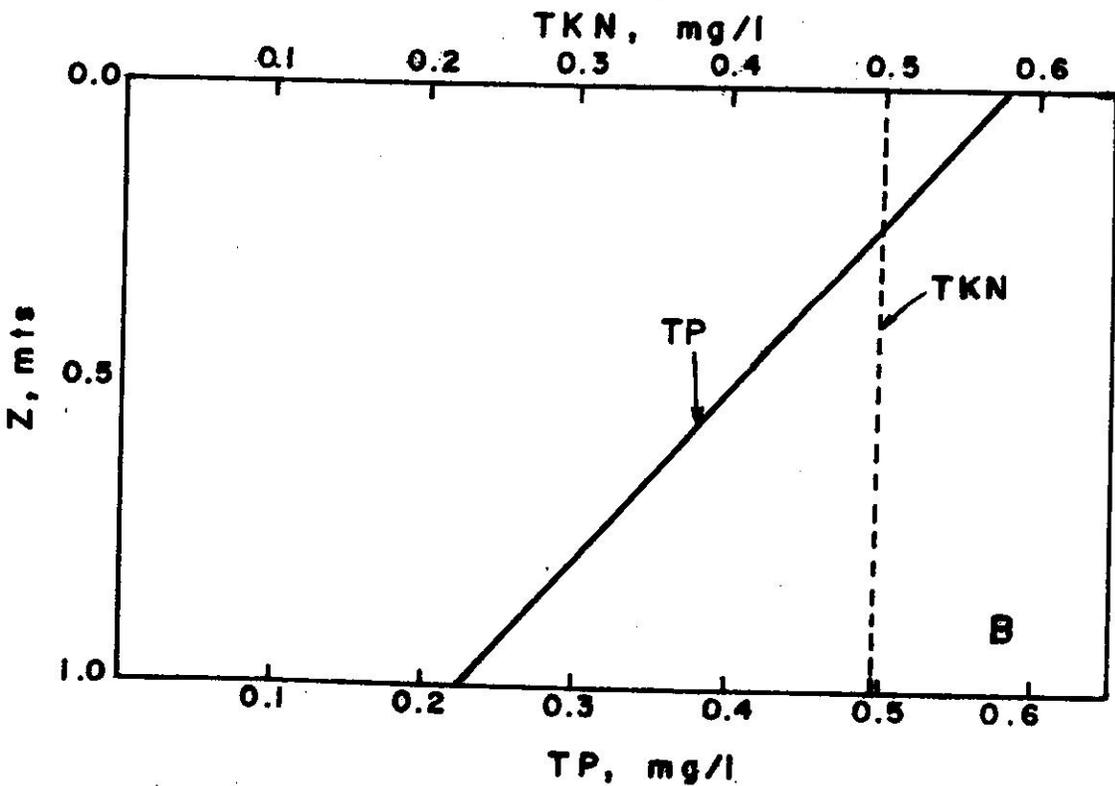
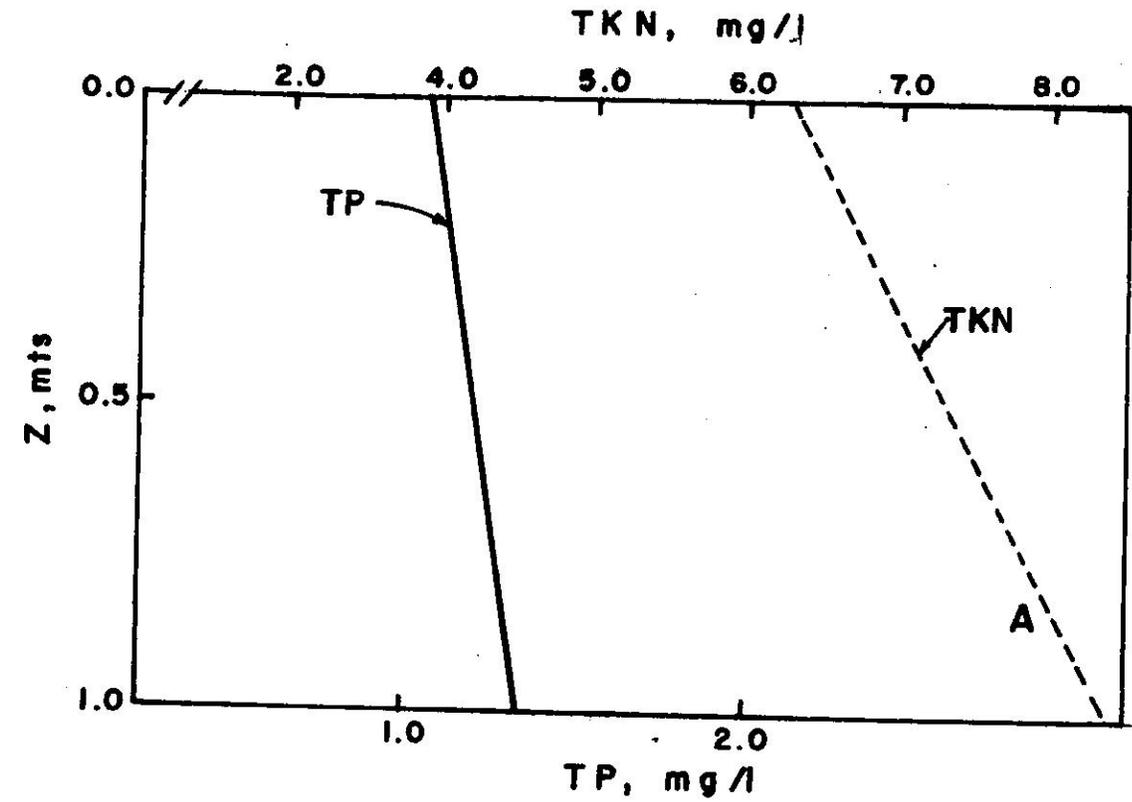


FIG. 19 DISTRIBUCION VERTICAL DE LA CONCENTRACION DE NITROGENO Y FOSFORO TOTAL (A) RIO CAGUITAS Y (B) RIO GRANDE DE LOIZA

Sin embargo, la concentración del fósforo total muestra una estratificación avanzada del nutriente entre la superficie y el fondo. La concentración del fósforo total promedio en la superficie resultó ser de 0.5389 (± 0.6636) mg/l y en el fondo de 0.2240 (± 0.1323) mg/l, lo que representa una diferencia de 0.3149 mg/l, equivalentes a una variación del 41.56% en solo una profundidad de 1m. Esta marcada desigualdad entre los valores del fósforo total entre superficie y fondo se puede deber a una gran variedad de factores ambientales, entre ellos, la cantidad de fósforo total asociada con la materia suspendida, y la concentración de oxígeno disuelto y los iones de calcio, hierro y manganeso (Ca^{+2} , Fe^{+3} , Mn^{+2}) en la columna de agua y los sedimentos, respectivamente. Esto establecería que la mayor parte del fósforo total esté asociado al material particulado o en suspensión que exista en la superficie, mientras que en el fondo constituye el depósito de los fosfatos en el Río Grande de Loíza. La existencia de una buena aereación del área por la presencia de corrientes de viento en el valle, junto a la escasa profundidad del sector permitirán una buena oxigenación de la columna de agua. Estas condiciones permitirían al fósforo asociarse y precipitarse principalmente en forma de complejos de fosfato ferro-hidróxidos $\{\text{Fe}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3\}$, fosfato férrico (FePO_4), hidroxilapatita $\{\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3\}$ y fosfato manganico (MnHPO_4) (Hutchinson, 1957; Wetzel, 1975; Theis & Mc Cabe, 1978). En otras palabras, la oxigenación de los sedimentos no solamente retiene al fósforo, sino que previene la difusión de iones ferrosos y fosfatos de las capas del mismo. Aunque la condición aeróbica de la estación mantenga la mayor parte de los fosfatos

en el fondo, la concentración del fósforo total (TP) en la superficie del agua, en términos de productividad, el Río Grande de Loíza es un tributario completamente hipertrófico, ya que sobrepasa el límite de mayor de $100\mu\text{g/l}$ de fósforo total (Wetzel, 1975). En cuanto al nitrógeno total (TKN), éste se encuentra en la fase mesotrófica. Esta condición sugiere que el Río Grande de Loíza se encuentra en una etapa de transición trófica.

La estación del Río Caguitas mostró un patrón similar de distribución de ambos nutrientes en la columna de agua, ya que ambos parámetros aumentaron en concentración con el gradiente de profundidad (Fig. 19a). De los tres tributarios del Lago Carraízo incluidos en la investigación, el Río Caguitas mostró los valores máximos de nitrógeno y fósforo total respectivamente, con valores promedio de $6.285 (\pm 3.53)$ mg/l y $8.6174 (\pm 5.52)$ mg/l de nitrógeno total para la superficie y el fondo respectivamente, y valores promedio de $1.0654 (\pm 1.35)$ mg/l y $1.380 (\pm 2.119)$ mg/l de fósforo total para la superficie e hipolimnión respectivamente. Sin lugar a dudas, la excesiva carga orgánica a la que está sometido el Río Caguitas por concepto de las descargas de efluentes parcialmente tratados o sin tratar de la planta de tratamiento de aguas domésticas de Caguas, con una descarga promedio de $20,819.7 \text{ m}^3/\text{d}$, posee una directa relación con los altos valores registrados.

En el caso del nitrógeno total, existe un pequeño gradiente con respecto a las concentraciones de la superficie y el fondo, que aunque esta diferencia sea de 1m., resulta en una pequeña estratificación en cuanto al nitrógeno total se refiere. Esta estratificación podría ser producto de la gran cantidad de materia orgánica

en forma de cieno que se encuentra depositada en el fondo de la estación, ya que el nitrógeno orgánico comúnmente constituye más de la mitad del nitrógeno total disuelto (Wetzel, 1975).

Por otro lado, el fósforo total se distribuye de una forma más uniforme, sin registrarse una variación significativa entre estratos, ya que ambos valores son extremadamente altos para un cuerpo de agua con un caudal reducido. Esta condición sugiere que la gran parte del fósforo total se encuentra en forma particulada o suspendida. Quiñones-Márquez (1980) en su estudio durante los años 1973-1975 determinó concentraciones promedio de 5.0 mg/l y 1.7 mg/l de nitrógeno y fósforo total, respectivamente en el Río Caguitas. Aunque estos datos luzcan comparables con los promedios superficiales reportados en la presente investigación, es digno de mencionar que Quiñones-Márquez en su estudio localizó la estación de muestreo cerca de la carretera número 30, que a diferencia con la localización de la estación en el presente (zona de mezcla del Río Caguitas y el Río Grande de Loíza) proyecta la magnitud que ha alcanzado el insumo excesivo de nutrientes al sistema, ya que los niveles observados durante su período de estudio (1973-1975) río arriba se han desplazado hasta su desembocadura con el Río Grande de Loíza.

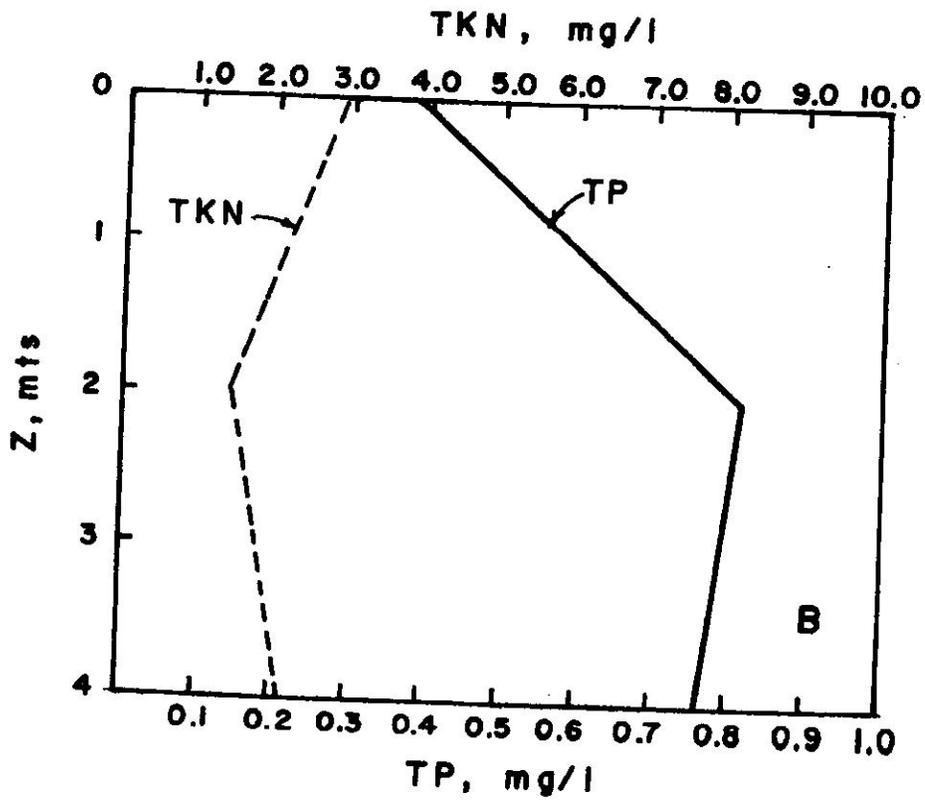
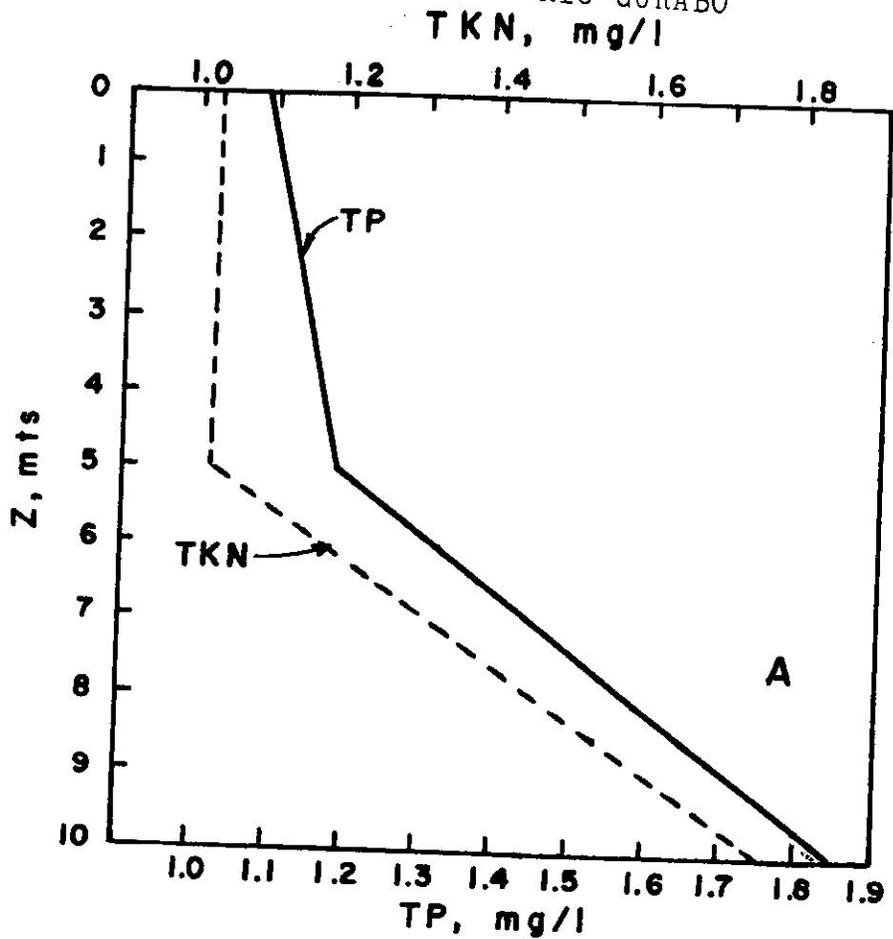
En cuanto a su nivel de productividad, el Río Caguitas se encuentra en el nivel hipereutrófico para ambos parámetros, ya que la magnitud de los valores determinados recaen en esa categoría (Wetzel, 1975). Aunque la disponibilidad de los nutrientes es marcada, el crecimiento del jacinto en el Río Caguitas no representa

las condiciones tróficas del sistema. Esto sugiere la presencia de algún factor limitante que inhiba tanto el crecimiento como su desarrollo.

La estación del Río Gurabo mostró un patrón peculiar y muy diferente al establecido en las estaciones anteriormente discutidas, ya que la concentración del nitrógeno total en la columna de agua resultó ser antagónica a la concentración del fósforo total (Fig. 20b). En el caso del nitrógeno total, la concentración promedio en la superficie resultó ser de 2.903 (± 2.382) mg/l, en la profundidad media resultó ser menor con un valor promedio de 1.4419 (± 1.467) mg/l y finalmente en el fondo registró una concentración superior a la profundidad media, pero inferior al de la superficie, la que mostró un valor promedio de 2.1782 (± 1.676) mg/l. Sin embargo, las concentraciones de fósforo total mostraron un valor mínimo en la superficie (0.3026 mg/l ± 0.501), el valor máximo en la profundidad media (0.8278 mg/l ± 0.856) y un valor superior a la superficie, pero inferior a la profundidad media en el fondo (0.7643 mg/l ± 1.124). El declive en la concentración del nitrógeno total en la profundidad media sugiere que éste se podría encontrar en otras formas y, más específicamente, en forma de nitratos (NO_3^-), como determinado por Quiñones-Márquez (1980). Además, la alta concentración del nitrógeno total en la superficie podría deberse a la concentración del nitrógeno presente en las algas.

Por el contrario, el aumento significativo en la concentración del fósforo total en la profundidad podría atribuirse a que el fósforo total esté asociado a las formas suspendidas o particuladas en esa zona. Una observación similar la registró Martínez (1979)

FIG.20 DISTRIBUCION VERTICAL DE NITROGENO Y FOSFORO TOTAL (A) LAGO CARRAIZO Y (B) RIO GURABO



(1979) en el Lago Toa Vaca a una profundidad de cuatro metros sin aparente explicación. La falta de datos concernientes a la distribución vertical del fósforo total asociado con parámetros de sólidos suspendidos es evidente, lo que limita el entendimiento y comprensión de este acontecimiento con certeza. Se necesita efectuar más investigaciones en los cuerpos de agua interiores de Puerto Rico para poder ofrecer una conclusión definitiva sobre el particular.

Por otro lado, los valores de nitrógeno y fósforo total para la superficie del Río Gurabo reportados con anterioridad (2.903 y 0.3026 mg/l) resultan comparables con los valores determinados por Quiñones-Márquez de 2.5 y 0.35 mg/l respectivamente, lo que indica que no han habido cambios significativos en la superficie del Río Gurabo desde entonces. Sin embargo, es evidente que las descargas de efluentes parcialmente tratados o sin tratar de las plantas de tratamiento de aguas servidas de Juncos y Gurabo, las que constituyen con un volumen promedio en conjunto de 4,201.79 m³/d, aporten cantidades significativas de los nutrientes a este tributario. Esto se comprueba con la diferencia de 5.85 veces del valor de nitrógeno total para la superficie comparada con la del Río Grande de Loíza, unido al incremento en la concentración de fósforo con la profundidad, lo que finalmente haga categorizar al Río Gurabo como un tributario hipertrófico.

Finalmente, la estación del Lago Carraízo mostró todas las cualidades de un cuerpo de agua hipertrófico, ya que las concentraciones del nitrógeno total y el fósforo total aumentaron con

la profundidad (Fig. 20a). Para el caso del nitrógeno total, la concentración promedio en la superficie resultó ser de 1.2440 (± 1.19) mg/l, de 1.204 (± 1.069) mg/l a cinco metros y de 1.74 (± 1.163) mg/l a una profundidad de diez metros, mientras que las concentraciones del fósforo total fueron de 1.0833 (± 1.184) mg/l, 1.119 (± 1.147) mg/l y 1.850 (± 3.80) mg/l para la superficie, la profundidad media (5m) y el fondo respectivamente (10m). La dinámica prevaleciente en la estación del Lago Carraízo para ambos parámetros esta asociada íntimamente con la estratificación de la concentración del oxígeno disuelto prevaleciente durante todo el año en la columna de agua y la presencia de grandes cantidades de materia orgánica en los sedimentos del Lago. La presencia de una buena carga orgánica en los sedimentos, provenientes de las descargas de los tributarios al Lago y la aglomeración de masas de jacinto de agua en el fondo ejercerá una demanda por parte de la flora bacteriana en la concentración del oxígeno disuelto y trayendo como resultado la regeneración de los nutrientes nitrógeno y fósforo al sistema (Jewell, 1971; Rho & Gunner, 1978).

En el caso del nitrógeno total, la acumulación de nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3) se acelera grandemente cuando en el fondo se torna anóxico, lo que cesa el proceso de nitrificación (NO_2^- , NO_3^-) por la flora bacteriana, resultando en una marcada liberación de amonio (NH_4^+) de los sedimentos (Wetzel, 1975). El decrecimiento de la concentración del nitrógeno total en la profundidad media se puede atribuir a la concentración de las algas presentes en la superficie. Análogamente, la concentración

del fósforo total en el fondo aumenta bajo condiciones anóxicas en la interfase de los sedimentos y el fondo. A medida que el oxígeno en el fondo y la interfase entre los sedimentos y el agua vecina se reduzca, la liberación de fosfatos, hierro y manganeso incrementan debido a la reducción de los hidróxidos de hierro, de manganeso y sus complejos (Wetzel, 1975; Theis & Mc Cabe, 1978). Además, la presencia de materia orgánica en los sedimentos del fondo induce a la producción de hidrógeno sulfuroso (H_2S) bajo condiciones anaeróbicas, lo que trae una precipitación del ion ferroso en forma de sulfuro ferroso (FeS), lo que permite, a su vez, que los fosfatos acumulados en el fondo se mantengan en solución (Hutchinson, 1957; Wetzel, 1975). Estas condiciones serán permanentes, ya que la estratificación en temperatura no es significativa en regiones tropicales, lo que seguirá favoreciendo las condiciones anóxicas en el fondo y por lo tanto, más recirculación del nitrógeno y fósforo al sistema que finalmente acelerará la razón de sedimentación del Lago. Semejante situación explica el crecimiento profuso del jacinto de agua en la región del Lago Carraízo y, probablemente, el dominio del super jacinto en esa región.

Por último, el estudio previo de Quiñones-Márquez (1980) mostró valores de nitrógeno y fósforo total de 1.5 y 0.28 mg/l respectivamente para la superficie de la estación del Lago Carraízo. Sólo el valor reportado del nitrógeno total resulta comparable, ya que existe una diferencia de 3.87 veces del valor reportado para fósforo total. Este hecho se puede atribuir a que durante el período de estudio (1973-1975) la condición de la

liberación de los fosfatos en la columna de agua en el Lago Carraízo no fuese tan marcada comparativamente con las condiciones actuales (1980). Esto antepone al Lago Carraízo como un ejemplo típico de un lago hipereutrófico.

Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno (BOD, COD):

Los resultados obtenidos para las estaciones 1, 2, 3 y 4 de los valores promedios del BOD y COD se resumen en la Tabla 9. Las concentraciones del BOD por estación mostraron un decrecimiento de los valores promedio a medida que el agua se mueve en dirección río abajo hacia la región del Lago Carraízo, mientras que los valores para el COD fueron más representativos de la carga orgánica que los tributarios aportan al Lago Carraízo.

En cuanto a la distribución vertical, los valores de BOD y COD incrementaban con aumento en la profundidad, a excepción del Río Gurabo en el caso del BOD. Para la estación del Río Grande de Loíza, ésta registró los valores más altos del BOD, con valores promedio de 116.6 (± 135.4) mg/l y 133.9 (± 135.7) mg/l respectivamente para la superficie y el fondo respectivamente. Análogamente, las concentraciones de COD promedio en la columna de agua mostraron un patrón similar de aumento con la profundidad (Fig. 21b), pero contrario a los valores máximos del BOD, esta estación mostró los valores mínimos de COD para superficie y el fondo, con valores de 5.102 (± 4.272) mg/l y 8.225 (± 7.7) mg/l respectivamente. La diferencia marcada entre los valores de BOD y COD aparentemente se deben a una alta población de organismos aeróbicos (fitoplancton) que respiran en la oscuridad provocando una alza en el

TABLA 9: CONCENTRACIONES PROMEDIO, MAXIMAS, MINIMAS Y DESVIACIONES ESTANDAR EN LA COLUMNA DE AGUA DE LOS VALORES DE BOD Y COD PARA LOS TRES TRIBUTARIOS PRINCIPALES Y EL LAGO CARRAIZO (mg/l)

ESTACION	PROFUNDIDAD m	BOD				COD			
		PROM.	MAX.	MIN.	DE	PROM.	MAX.	MIN.	DE
Río Grande de Loíza	0.5	116.6	356.2	24.80	135.4	5.102	8.934	0.0121	4.272
	1.0	133.9	375.0	0.2732	135.7	8.225	20.73	0.870	7.70
Río Caguitas	0.5	107.2	312.5	37.60	116.5	45.51	77.1	14.705	28.19
	1.0	121.7	337.5	46.0	122.32	47.80	54.5	38.68	7.11
Río Gurabo	0.5	100.15	325.0	19.0	112.4	17.60	30.14	10.70	7.9
	2.0	101.5	312.5	25.1	107.06	17.37	36.60	8.563	10.34
	4.0	98.89	318.7	21.6	110.8	20.52	34.15	10.29	8.654
Lago Carraizo	0.5	69.70	225.0	18.6	80.62	13.55	27.58	5.870	7.890
	5.0	83.11	212.5	27.6	68.32	13.25	31.30	3.960	9.780
	10.0	98.45	287.5	29.6	12.05	19.68	37.86	8.623	12.05

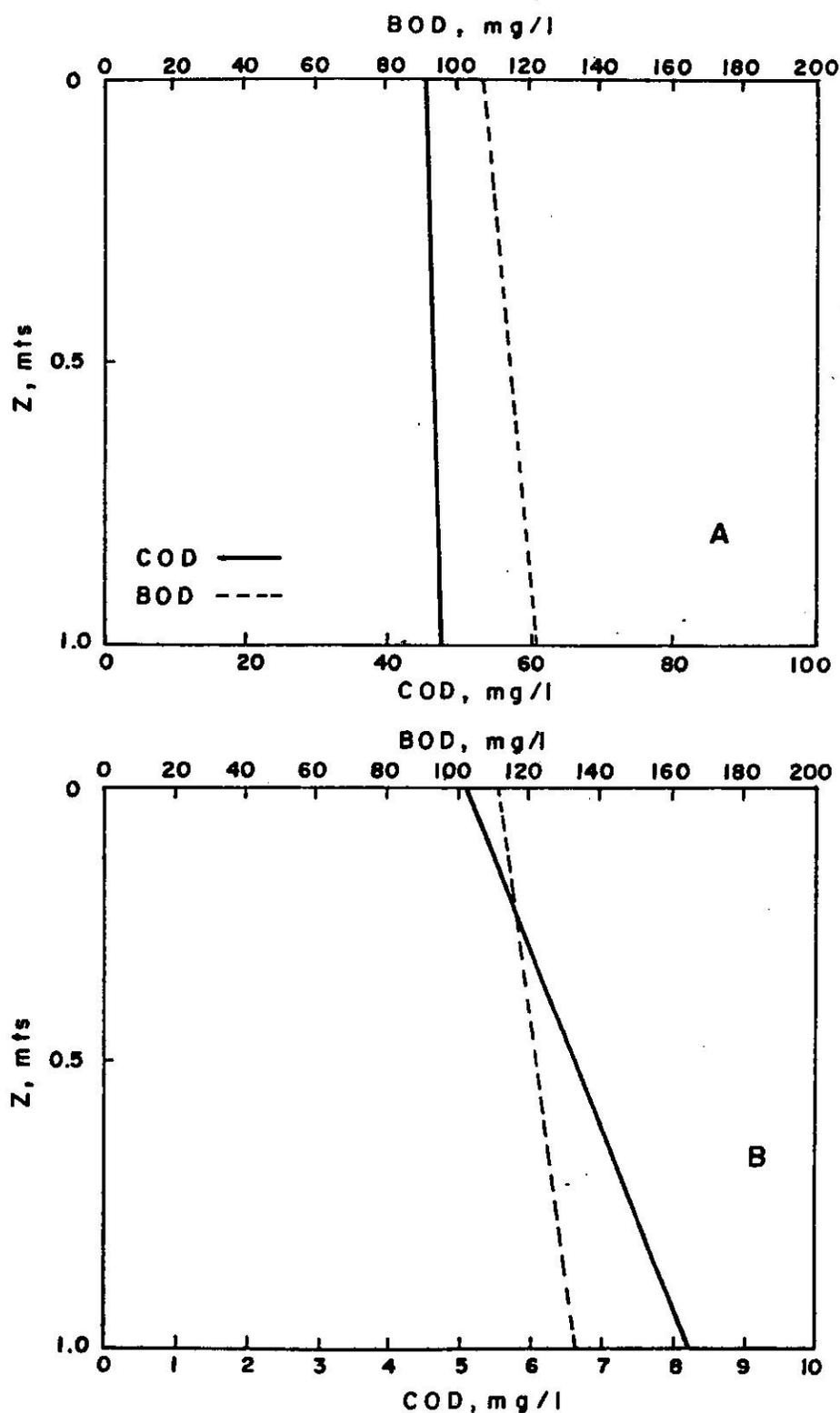


FIG. 21 Distribución vertical de la concentración de BOD y COD en el Río Caguitas (A) y en el Río Grande de Loíza (B)

consumo de oxígeno y, por lo tanto, un aumento en los valores del BOD. El valor mínimo del COD sugiere que el Río Grande de Loíza es el tributario que menos carga orgánica recibe.

Por otro lado, la estación del Río Caguitas siguió en orden de magnitud a la estación del Río Grande de Loíza en términos de la concentración del BOD, mas resultó máxima en cuanto a la concentración de COD se refiere. Sin embargo, ambas concentraciones aumentaron con incremento en la profundidad, con valores promedio de 107.2 (± 116.5) mg/l y 121.7 (± 122.32) mg/l respectivamente para el BOD y 45.51 (± 28.19) mg/l y 47.8 (± 7.11) mg/l para los valores de COD respectivamente (Fig. 21a). Sin lugar a dudas, el Río Caguitas es la estación que mayor cantidad de carga orgánica exporta al Río Grande de Loíza, lo que refleja la condición trófica del sistema producto de las descargas sin tratar o a medio tratar de plantas de tratamiento de aguas negras operando con un volumen por encima de su capacidad original. La concentración de ciertos compuestos orgánicos resistentes a la degradación biológica podría influir en la baja en el BOD, lo que también podría proyectarse al crecimiento y desarrollo inferiores de los jacintos de agua que habitan el Río Caguitas. Dadas estas circunstancias, el crecimiento y desarrollo pobre del jacinto de agua en ese tributario justifican la calidad del agua del río, lo que coloca al jacinto de agua como un posible bioindicador de las condiciones detrimen-
tales del Río Caguitas.

El Río Gurab muestra un patrón similar al de la distribución del nitrógeno y fósforo total en la columna de agua (Fig. 22b)

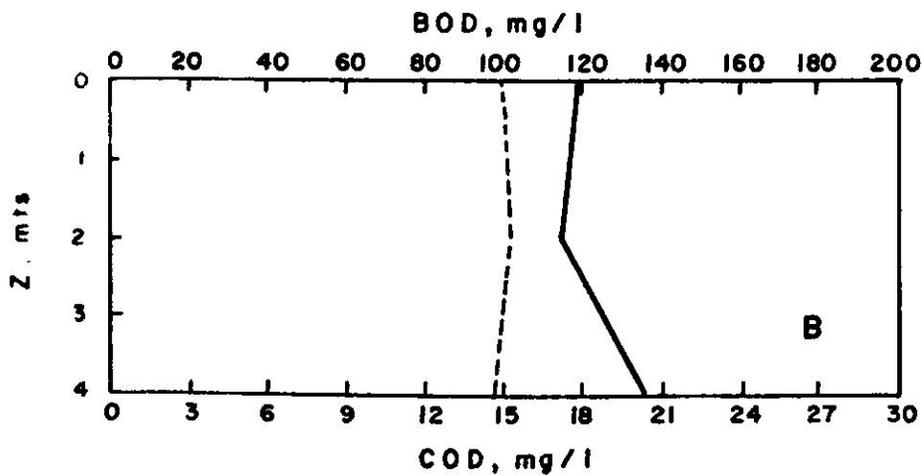
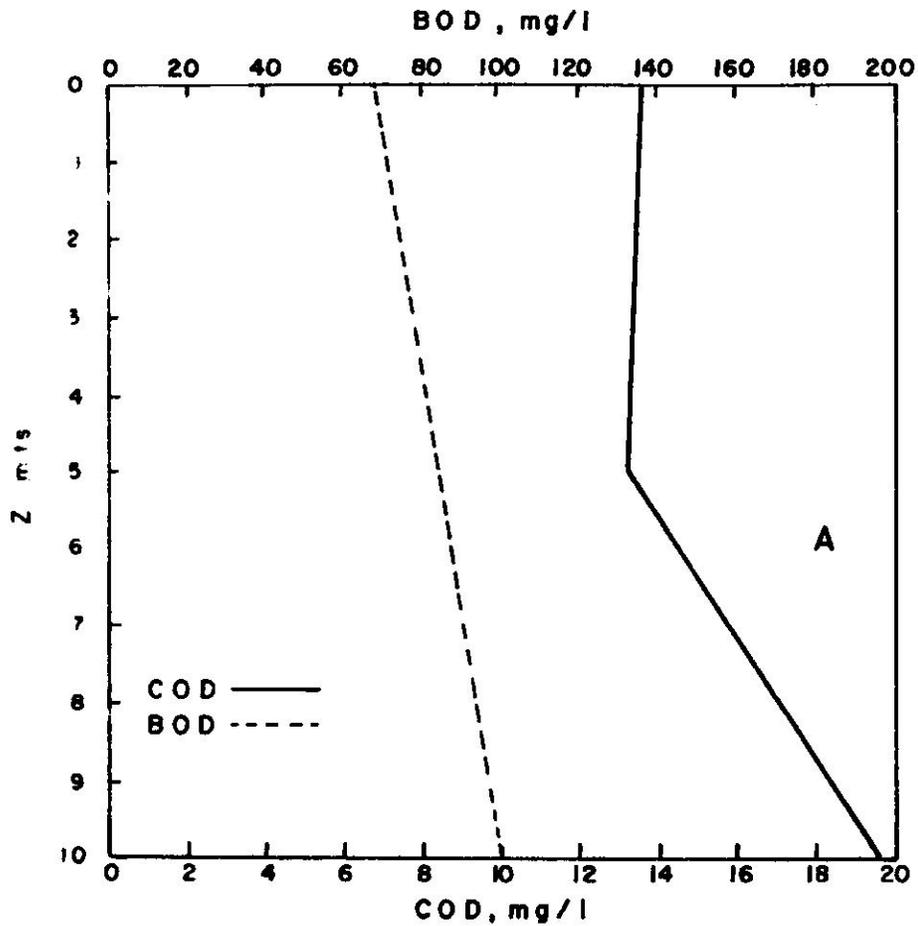


FIG.22 Distribución vertical de la concentración de BOD y COD en el Lago Carraízo (A) y el Río Gurabo (B)

en lo que a concentración de COD y BOD se refiere. Por un lado, la distribución del COD en la columna de agua (17.60 ± 7.9 mg/l, 17.37 ± 10.34 mg/l y 20.52 ± 8.654 mg/l para la superficie, profundidad media y fondo respectivamente), muestra una distribución análoga a la distribución vertical del nitrógeno total en el tributario. Por otro lado, las concentraciones de BOD (100.15 ± 112.4 mg/l, 101.5 ± 107.06 mg/l y 98.89 ± 110.8 mg/l, para la superficie, profundidad media y fondo respectivamente) siguen el patrón similar al del fósforo total en la columna de agua del río. Este hecho sugiere que el plancton esté asociado directamente a ese "estrato" de material suspendido en el cual se encuentra asociado el fósforo total. En cuanto al COD, el fondo podría representar el depósito de materia orgánica proveniente de las capas superiores, en su mayor parte detrito, cieno y jacintos de agua, lo que finalmente acelera el proceso de sedimentación del Río Gurabo.

Por último, los valores de BOD reportados por Quiñones-Márquez (1980) de 0.8 a 7.4 mg/l para la superficie, resultan inferiores a los determinados en el presente estudio. Dicha diferencia se puede deber a la excesiva carga de nutrientes relacionada al aumento poblacional, que ha podido recibir el Río Gurabo desde que finalizó su estudio en 1975. Esto coloca al Río Gurabo en un nivel de contaminación mucho más avanzado que lo reportado por Quiñones-Márquez (1980) en su estudio.

En el Lago Carraízo, tanto la concentración del BOD como la del COD aumentó con incremento en profundidad (Fig. 22a). Los valores del BOD para la columna de agua en el Lago Carraízo

mostraron ser los menores, con valores promedio de 69.7 (± 80.62) mg/l, 83.11 (± 68.32) mg/l y 98.45 (± 12.05) mg/l para la superficie, profundidad media y el fondo. Este aspecto sugiere una menor utilización del oxígeno disuelto en la columna de agua, aunque hay que hacer la salvedad de que la concentración del BOD se incrementa en el fondo. Sin embargo, la gran disponibilidad de nutrientes que existe en el fondo del Lago Carraízo, promueve una gran concentración de flora bacteriana en la interfase de los sedimentos y el agua, lo que proporcionaría un sustrato para algunas especies de copépodos (*Macrocyclops*, sp., *Paracyclops*, sp., *Halicyclops*, sp.) que forman la comunidad béntica del Lago Carraízo (Quiñones-Márquez, 1980). Aunque los datos de Quiñones-Márquez (1980) sobre la población dominante de estos copépodos sólo se proyectaron hasta una profundidad de 5m., cabe el mencionar en adición, que algunas especies de protozoarios pueden tolerar condiciones anaeróbicas en esa interfase por períodos de tiempo apreciables (Wetzel, 1975). Sumado a esto, la presencia de bacterias facultativas en el fondo podrían ejercer en conjunto un aumento en el consumo de oxígeno disuelto en condiciones aeróbicas, condiciones a las cuales se lleva a cabo la prueba del BOD, marcando la dinámica de aumento del BOD con incremento en profundidad.

Mas sin embargo, la distribución vertical del COD muestra un aumento en el contenido orgánico con la profundidad (13.55 ± 7.89 mg/l, 13.25 ± 9.78 mg/l y 19.68 ± 12.05 mg/l para la superficie, en la profundidad media y el fondo respectivamente), lo que resulta de acuerdo a los resultados esperados. Dada la existencia de una

apreciable cantidad de nutrientes en los sedimentos, es de esperarse que se ejerza una demanda bioquímica significativa, independientemente de la existencia de condiciones anaeróbicas en el sistema.

Un posible indicador de la diferencia entre la demanda que ejerce la población que constituye el plancton, las bacterias y la carga orgánica del medio en que se envuelvan, lo expresa la razón del BOD al COD (BOD/COD) para cada estación en particular. Este valor representará qué condición guardará más relevancia con respecto a la flora y fauna microscópica o la carga orgánica a la que esté sometido. Podría utilizarse como un indicador de la condición trófica en que se encuentra cada componente del sistema del Lago Carraízo.

La Tabla 10 resume las razones de BOD a COD para cada tributario, reflejo de las condiciones que imperan en cada estación. Para el caso del Río Grande de Loíza, las razones para la superficie como para el fondo resulta con máximas con un valor de 22.85 y 16.28, seguidas por el Río Gurabo (5.69, 5.84 y 4.819 para superficie, metalímneo y fondo respectivamente) el Lago Carraízo (5.140, 6.272 y 5.002 respectivamente) y, por último, el Río Caguitas con la menor de las razones (2.355 y 2.546). Como es evidente, el Río Caguitas está afectado grandemente por el insumo de nutrientes y material orgánico al que está expuesto. Por el otro lado, el Río Grande de Loíza refleja una influencia menos marcada en la carga orgánica y sí en la productividad primaria. Los restantes dos (Río Gurabo y Lago Carraízo) están encaminados hacia la sobrecarga de nutrientes y material orgánico, dado

TABLA 10: RAZONES DE LAS CONCENTRACIONES DE BOD A COD EN LA COLUMNA DE AGUA PARA LOS TRES TRIBUTARIOS PRINCIPALES Y EL LAGO CARRAIZO

ESTACION	PROFUNDIDAD m.	BOD/COD
Río Grande de Loíza	0.5	22.85
	1.0	16.28
Río Caguitas	0.5	2.355
	1.0	2.546
Río Gurabo	0.5	5.690
	2.0	5.840
	4.0	4.819
Lago Carraízo	0.5	5.140
	5.0	6.272
	10.0	5.002

por el número de plantas por metro cuadrado, altura promedio de los jacintos y rendimiento en biomasa superior de los jacintos de agua que allí se establecen. Aunque los valores de las plantas que habitan en la región del Río Grande de Loíza y el Río Gurabo son parecidos entre sí, cabe mencionar que durante el período de estudio el Río Gurabo siempre estuvo repleto de jacintos de agua, mientras que el crecimiento del jacinto de agua en la región del Río Grande de Loíza se limitaba a masas flotantes de jacintos o brotes de las plantas en las márgenes del río.

La discusión de la razón antes mencionada (BOD/COD) no pretende achacar por completo, pero sí considerar, qué factores ambientales son los que tienen mayor importancia en el crecimiento y desarrollo del jacinto de agua en los tributarios principales y del Lago Carraízo respectivamente. Mas, sin embargo, esta razón resultó significativa para las plantas que crecieron en el Río Caguitas, lo que se correlacionará más adelante con otros parámetros llevados a cabo en la presente investigación.

Metales Livianos y Pesados:

La concentración total promedio de los metales calcio (Ca), manganeso (Mn), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cobre (Cu) y plomo (Pb) para los tributarios principales y el Lago Carraízo se presentan en la Tabla 11. Sin lugar a dudas, el calcio (Ca^{+2}) es el ion mas común a lo largo de la cuenca entre los metales analizados, seguido por el manganeso (Mn^{+2}). En el caso de los metales pesados, el mercurio (Hg^{+1} , Hg^{+2}) constituye el mayor indicio de contaminación industrial a los tributarios y al Lago Carraízo respectivamente, ya que éste se mantiene a unos niveles muy superiores a los presentes en condiciones naturales. El cobre (Cu^{+2}), cadmio (Cd^{+2}) y plomo (Pb^{+2}) se encuentran en niveles apreciables ($\text{Cu}^{+2} > \text{Cd}^{+2} > \text{Pb}^{+2}$), mas, sin embargo, los valores extremos y dispersión observados sugieren flujos intermitentes de estos metales a la cuenca.

El ion Ca^{+2} mostró una distribución vertical similar para todas las estaciones, registrándose un decrecimiento en la concentración con aumento en la profundidad. En el caso del Río Grande

TABLA 11: CONCENTRACIONES PROMEDIO, MAXIMAS, MINIMAS Y DESVIACION ESTANDAR EN LA COLUMNA DE AGUA DE METALES SELECTOS PARA LOS TRES TRIBUTARIOS PRINCIPALES Y EL LAGO CARRAIZO (CALCIO EN mg/l; LOS DEMAS EN µg/l)

ESTACION	PROFUNDIDAD m.	CALCIO (Ca^{+2})			MANGANESO (Mn^{+2})			DE	DE
		PROM.	MAX.	MIN.	PROM.	MAX.	MIN.		
Río Grande de Loíza	0.5	20.36	24.08	14.7	72.30	188.7	5.90	3.87	71.0
	1.0	18.02	27.25	12.3	80.30	174.3	8.50	5.85	63.6
Río Caguitas	0.5	36.61	38.80	34.5	69.45	197.8	14.5	1.67	75.9
	1.0	29.59	40.08	19.2	81.30	174.5	15.9	8.96	58.0
Río Gurabo	0.5	23.21	26.72	20.0	63.46	172.2	6.68	2.75	58.7
	2.0	20.92	31.26	16.0	56.52	157.6	13.9	5.50	52.9
	4.0	19.13	23.51	15.2	47.26	120.0	13.9	3.61	43.4
Lago Carraízo	0.5	26.44	34.5	18.7	15.54	37.98	0.0	6.25	14.4
	5.0	21.29	25.7	13.8	30.92	64.75	0.0	4.13	26.9
	10.0	16.85	23.24	9.45	54.92	113.9	18.87	5.36	36.8

TABLA 11: (CONTINUACION)

ESTACION	PROFUNDIDAD m.	MERCURIO (Hg ⁺ , Hg ⁺²) DE			CADMIO (Cd) MIN.			DE	
		PROM.	MAX.	MIN.	PROM.	MAX.	MIN.		
Río Grande de Loíza	0.5	0.8347	1.556	0.074	0.675	2.858	11.39	0.0	4.8
	1.0	1.109	2.516	0.140	0.99	2.031	6.125	0.0	2.5
Río Caguitas	0.5	0.905	1.343	0.698	0.40	1.073	1.914	0.0	0.99
	1.0	1.070	1.658	0.368	0.48	0.909	2.340	0.0	1.24
Río Gurabo	0.5	0.8608	1.658	0.0002	0.65	1.143	3.673	0.0	1.46
	2.0	0.8711	2.108	0.1223	0.83	1.271	3.873	0.0	1.97
	4.0	0.6972	1.378	0.1708	0.45	0.299	1.794	0.0	0.73
Lago Carraízo	0.5	0.7435	1.403	0.0	0.60	0.665	2.40	0.0	1.06
	5.0	0.7768	1.513	0.0	0.62	0.403	2.42	0.0	0.99
	10.0	0.7941	1.700	0.0002	0.70	3.563	18.74	0.0	7.5

TABLA 11: (CONTINUACION)

ESTACION	PROFUNDIDAD m.	COBRE (Cu ⁺²)				PLOMO (Pb ⁺²)			
		PROM.	MAX.	MIN.	DE	PROM.	MAX.	MIN.	DE
Río Grande de Loíza	0.5	10.58	28.02	0.0	12.80	<1.0	-	-	-
	1.0	5.414	23.9	0.0	10.46	0.5256	2.628	0.0	1.17
Río Caguitas	0.5	118.5	449.7	12.72	186.3	<1.0	-	-	-
	1.0	81.22	198.8	12.0	86.3	<1.0	-	-	-
Río Gurabo	0.5	7.787	20.5	0.0	7.8	1.694	7.752	0.0	3.12
	2.0	19.77	53.4	0.0	18.9	0.3905	2.343	0.0	0.95
	4.0	21.71	54.3	1.025	23.9	2.43	14.58	0.0	5.95
Lago Carraízo	0.5	6.780	30.58	0.0	12.1	3.751	22.51	0.0	9.19
	5.0	7.506	28.10	0.0	10.9	<1.0	-	-	-
	10.0	29.29	36.63	0.09	35.8	<1.0	-	-	-

de Loíza, las concentraciones de Ca promedio fueron de 20.36 (± 3.87) mg/l y 18.02 (± 5.85) mg/l respectivamente para la superficie y el fondo, mientras que el Río Caguitas mostró valores promedio de 36.61 (± 1.67) mg/l y 29.59 (± 8.96) mg/l para la superficie y el fondo, respectivamente. Las concentraciones de Ca para el Río Gurabo y el Lago Carraízo fueron de 23.21 (± 2.75) mg/l, 20.92 (± 5.50) mg/l y 19.13 (± 3.61) mg/l para la superficie, profundidad media y fondo respectivamente para el primero y 26.44 (± 6.25) mg/l, 21.29 (± 4.13) mg/l y 16.85 (± 5.36) mg/l respectivamente para el segundo caso. Este patrón de distribución que prevalece en todas las estaciones puede estar asociado a la cantidad de bicarbonatos (HCO_3^-) y materia orgánica en el fondo (Fig.23).

En el caso del Río Grande de Loíza y el Río Caguitas, el fondo constituye el centro de almacenaje de Ca, ya que además de prevalecer un ambiente oxidativo en la columna de agua, presenta un incremento de los carbonatos (HCO_3^-) con aumento en profundidad (Tabla 12), lo que provoca decalcificación en la superficie y precipitación del Ca en el fondo (Wetzel, 1975). Aunque los valores de la alcalinidad total sólo reflejan las condiciones por sólo una fecha, es de esperarse que sean representativos de la distribución del Ca en esas dos estaciones.

Por el contrario, la concentración de los bicarbonatos se reduce con incremento en la profundidad en el Río Gurabo y en el Lago Carraízo. Aunque es de esperarse que la concentración de bicarbonatos aumente en condiciones cercanas a las anóxicas, éste tenderá a estar combinado en forma de carbonato de amonio (NH_4CO_3) en presencia de concentraciones de amonio (NH_4^+), producto

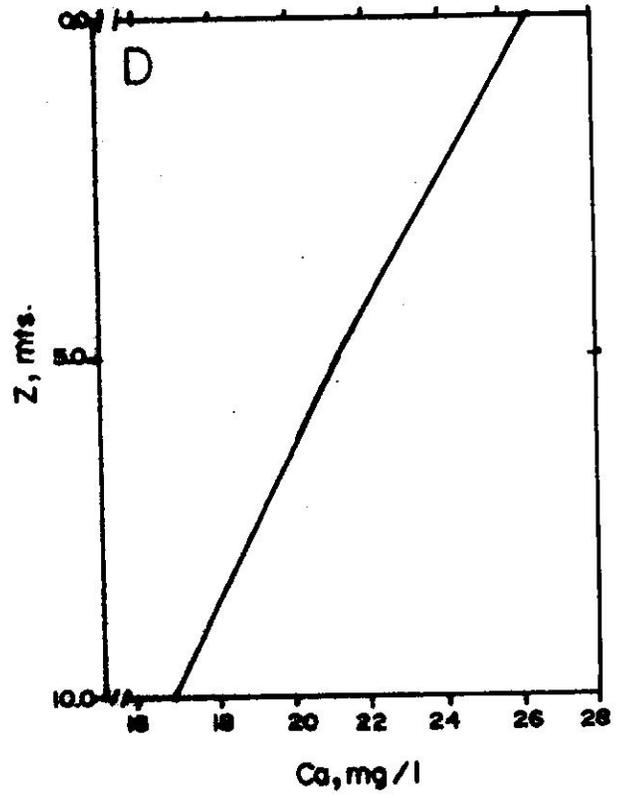
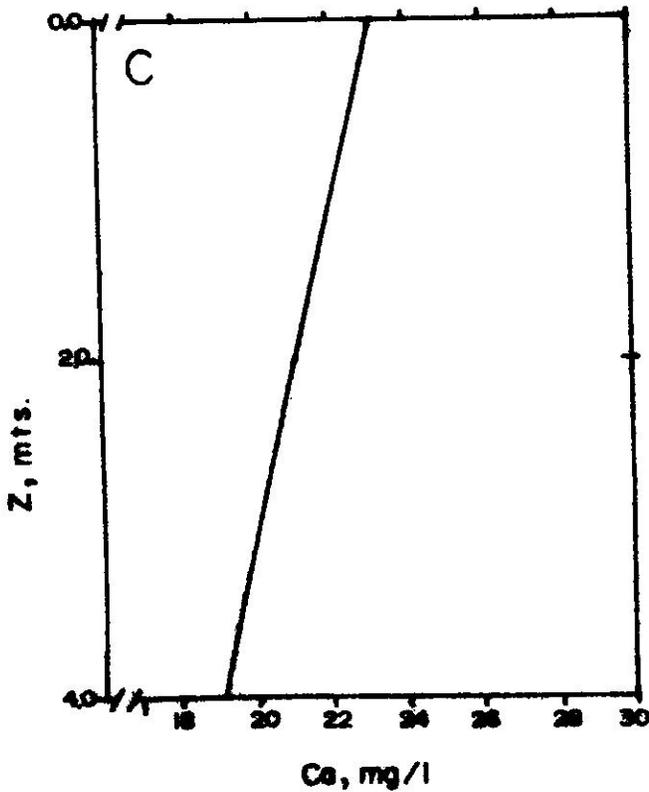
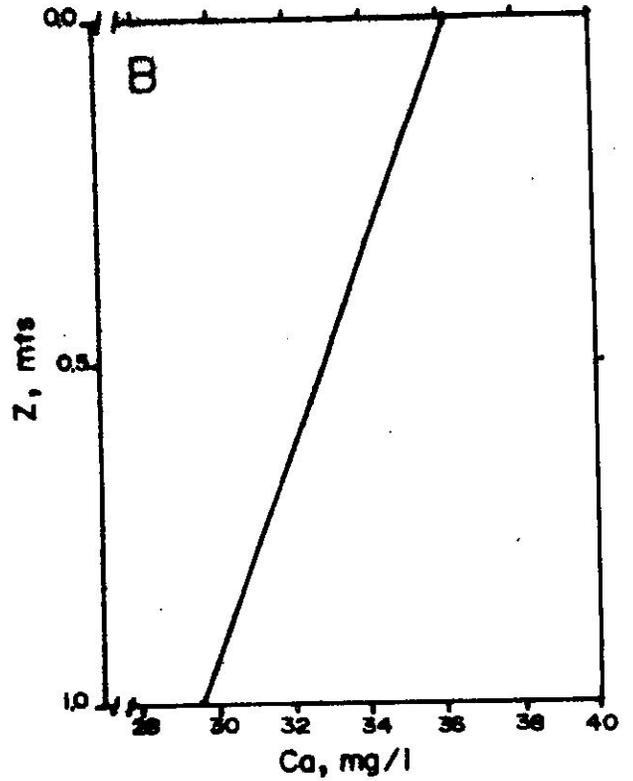
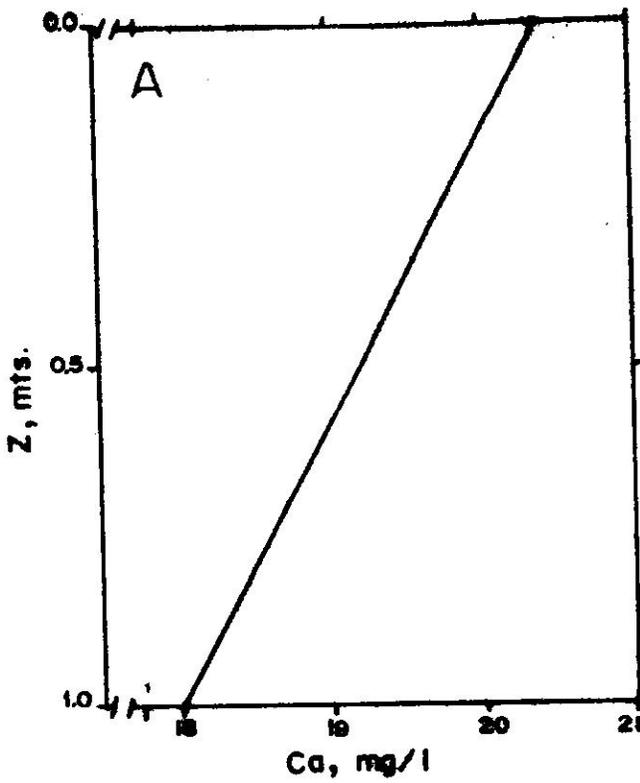


FIG. 23 Distribución vertical del calcio en las estaciones (A) Río Grande de Loíza, (B) Río Caguítas, (C) Río Gurabo y (D) Lago Carraízo

TABLA 12: CONCENTRACIONES PROMEDIO DE ALCALINIDAD TOTAL EN LA COLUMNA PARA LOS TRIBUTARIOS PRINCIPALES Y EL LAGO CARRAÍZO RESPECTIVAMENTE (mg/l)

ESTACION	PROFUNDIDAD (m)	ALCALINIDAD TOTAL* (como CaCO ₃)
Río Grande de Loíza	0.5	167.4
	1.0	171.1
Río Caguitas	0.5	205.01
	1.0	393.02
Río Gurabo	0.5	152.3
	2.0	138.9
	4.0	105.6
Lago Carraízo	0.5	172.3
	5.0	158.1
	10.0	142.2

*Prueba efectuada durante el último muestreo.

de la descomposición de materia orgánica (Wetzel, 1975). Sin embargo, una parte significativa del calcio podría estar atada en los sedimentos, especialmente en sedimentos con ácidos húmicos, lo que provocaría un cambio evidente en el equilibrio del Ca⁺² en el fondo (Wetzel, 1975). La presencia de grandes masas de materia orgánica en los sedimentos del Río Gurabo y el Lago Carraízo podrían ejercer una marcada influencia por la disponibilidad del Ca en el fondo del Río Gurabo y el Lago Carraízo.

Por otro lado, los valores reportados por Quiñones-Márquez (1980) para Ca en el Río Caguitas (48 mg/l) resultaron inferiores a los determinados en el estudio, sin embargo, los valores determinados para el Río Gurabo (20 mg/l) y el Lago Carraízo (21 mg/l) resultaron comparables a los datos obtenidos en este estudio. Aunque la diferencia es significativa entre los valores reportados para el Río Caguitas en las dos investigaciones, ambas concuerdan en que el Río Caguitas exhibió los valores mayores, producto de la geología del lugar.

Un parámetro íntimamente ligado con la concentración de Ca en las aguas es la dureza de las mismas, la que resulta proporcional a la concentración del ion. La Tabla 13 resume las concentraciones promedio de dureza y la categoría de las aguas con respecto al grado de dureza. En este caso, el Río Caguitas resultó poseer las aguas más duras de los tributarios estudiados en este estudio, probablemente debido a la geología de la región. Los demás tributarios, como el Lago Carraízo, resultaron poseer aguas suaves en sus respectivas estaciones.

La distribución vertical para manganeso (Mn^{+2}) resultó similar para las estaciones del Río Grande de Loíza y el Río Caguitas y diferente para el Río Gurabo y el Lago Carraízo, ya que en las primeras dos aumentó con la profundidad, la tercera disminuyó con incremento en profundidad y la última aumentó marcadamente con aumento en la profundidad. Para las estaciones del Río Grande y el Río Caguitas, la diferencia entre la superficie y el fondo fue en promedio de 9.93 $\mu g/l$, con valores para la superficie de

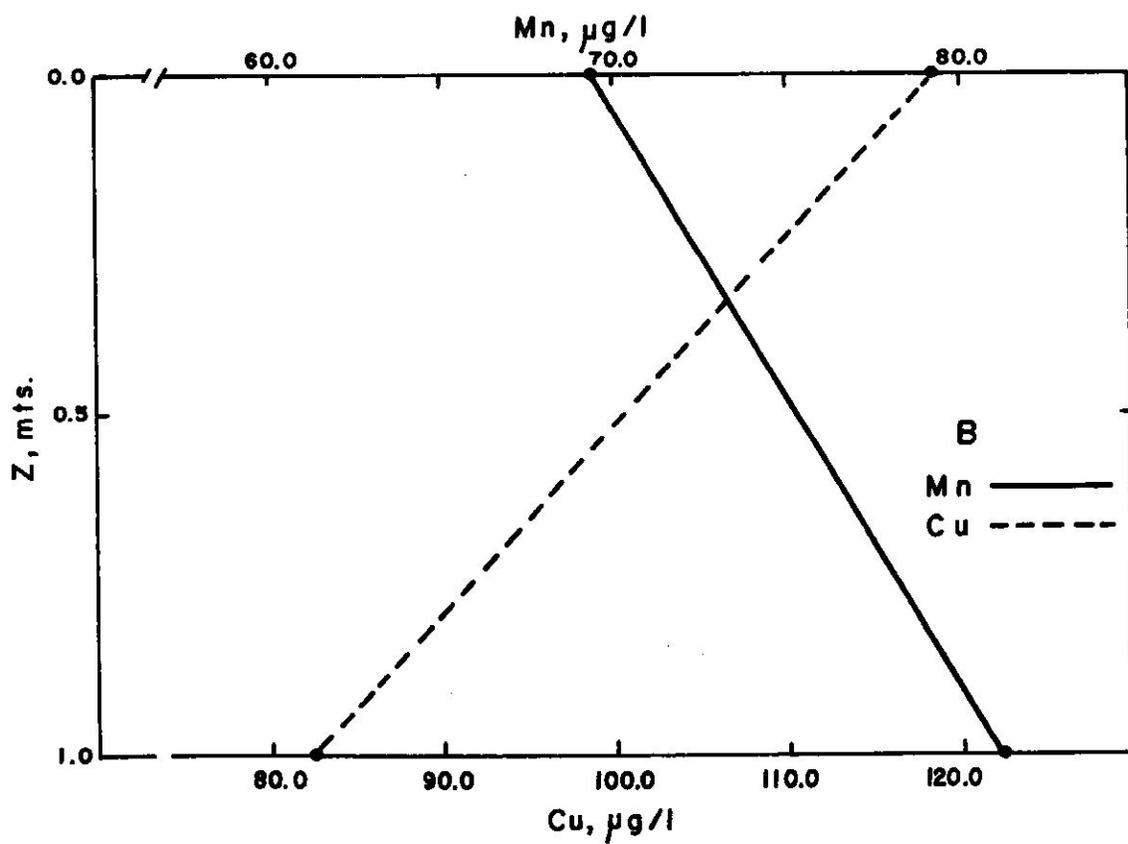
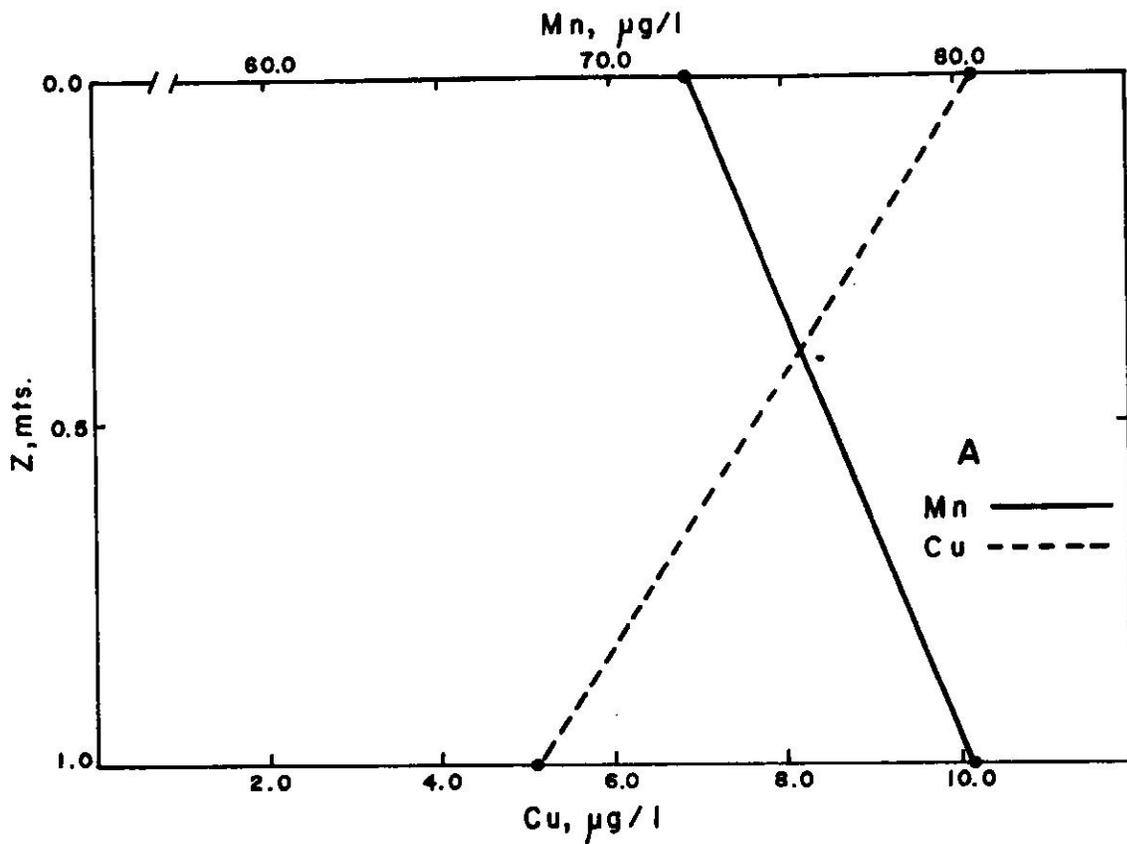
TABLA 13: CONCENTRACIONES PROMEDIO DE LA DUREZA (COMO CaCO_3) EN LA COLUMNA DE AGUA PARA LOS TRIBUTARIOS PRINCIPALES Y EL LAGO CARRAIZO RESPECTIVAMENTE

ESTACION	PROFUNDIDAD (m)	DUREZA (mg/l)	CATEGORIA
Río Grande de Loíza	0.5	50.75 (± 9.56)	suave
	1.0	44.96 (± 14.6)	
Río Caguítas	0.5	91.36 (± 4.15)	moderada-mente suave
	1.0	73.84 (± 22.3)	
Río Gurabo	0.5	57.9 (± 6.83)	suave
	2.0	52.2 (± 13.74)	
	4.0	47.74 (± 9.02)	
Lago Carraízo	0.5	65.97 (± 15.9)	suave
	5.0	53.13 (± 10.3)	
	10.0	42.05 (± 13.36)	

72.3 (± 71.0) $\mu\text{g/l}$ y para el fondo de 80.3 (± 63.6) $\mu\text{g/l}$ para el Río Grande de Loíza y 69.45 (± 75.9) $\mu\text{g/l}$ y 81.3 (± 58.0) $\mu\text{g/l}$ para la superficie y el fondo respectivamente en el Río Caguítas (Fig. 24b, a). Esta pequeña variación en la concentración de Mn se podría deber a una distribución uniforme del oxígeno en la columna de agua, lo que provocaría un ligero aumento en la concentración de Mn en el fondo por ser éste más soluble que el hierro (Wetzel, 1975).

La disminución con incremento en la profundidad en la concentración de Mn en el Río Gurabo (Fig. 25b) con 63.46 (± 58.7) $\mu\text{g/l}$

FIG. 24 DISTRIBUCION VERTICAL DE MANGANESO Y COBRE EN (A) RIO CAGUITAS Y (B) RIO GRANDE DE LOIZA



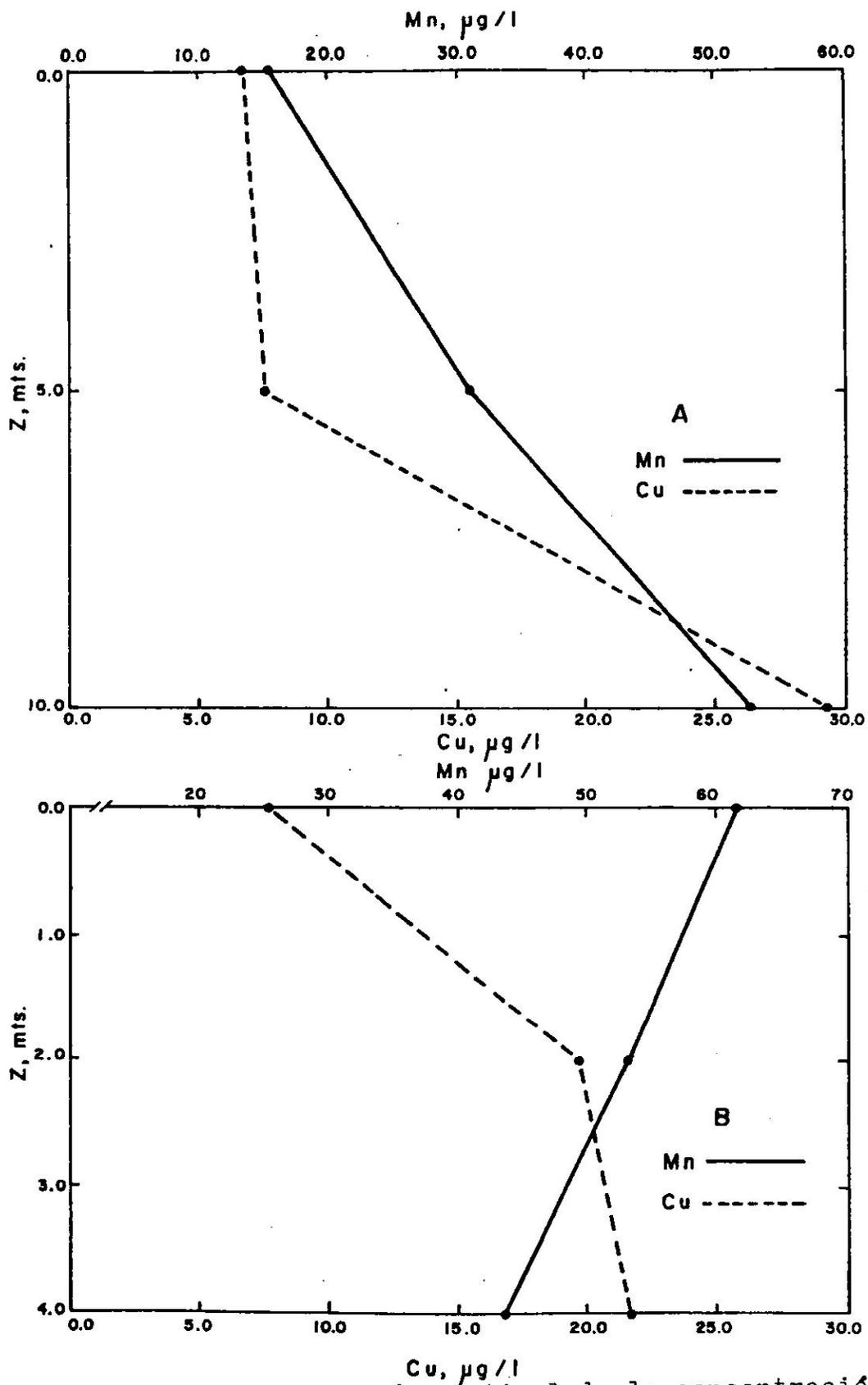


FIG. 25 Distribución vertical de la concentración de manganeso y cobre en el Lago Carraízo (A) y el Río Gurabo (B)

56.52 (± 52.9) $\mu\text{g/l}$ y 47.26 (± 43.4) $\mu\text{g/l}$ para la superficie, profundidad media y fondo respectivamente, la cual indica un máximo en la sección de la superficie. Hutchinson (1957) menciona un patrón de distribución similar en lagos tropicales de Java, atribuido posiblemente a un manantial de aguas manganíferas. Posiblemente la formación geológica de las márgenes del Río Gurabo juegue un papel importante en esta distribución.

Sin embargo, la estación del Lago Carraízo (Fig. 25a) muestra un marcado aumento del ion con la profundidad (15.54 ± 14.4 $\mu\text{g/l}$, 30.92 ± 26.9 $\mu\text{g/l}$ y 54.92 ± 36.8 $\mu\text{g/l}$ para la superficie, profundidad media y fondo respectivamente). Este incremento significativo en la concentración en Mn en el fondo es típico de los lagos eutróficos en que la dinámica del fósforo total es similar a la de Mn, ya que la razón de liberación de fosfatos estará ligada al decrecimiento en el potencial de reducción, producto a su vez de la ausencia de oxígeno disuelto en el fondo (Wetzel, 1975). Tal situación provoca la reducción de Mn^{+2} , seguido de la liberación de fosfatos en el fondo. Junto al hierro, el manganeso constituye uno de los factores más importantes en la liberación de fosfatos en los sedimentos en el Lago Carraízo, confirmando la condición eutrófica del Lago.

El patrón de distribución del cobre (Cu^{+2}) presentó dos formas distintas para las cuatro estaciones: disminución de la concentración del ion con aumento en la profundidad en las primeras dos y aumento de la concentración con incremento en la profundidad en las dos estaciones río abajo. Para el primer

caso, las estaciones del Río Grande de Loíza y el Río Caguitas responden a ese patrón, con valores promedio de 10.58 (± 12.8) $\mu\text{g/l}$ y 5.44 (± 10.46) $\mu\text{g/l}$ para la superficie y fondo respectivamente para el Río Grande de Loíza y 118.5 (± 186.3) $\mu\text{g/l}$ y 81.22 (± 86.3) $\mu\text{g/l}$ para la superficie y fondo del Río Caguitas respectivamente (Fig. 24 b,a). Esta manifiesta reducción del Cu en el fondo sugiere que el Cu en el fondo se encuentra inmovilizado en los sedimentos en forma orgánica, asociado con el material coloidal (Hutchinson, 1957).

Por el contrario, la distribución vertical en el Río Gurabo y el Lago Carraízo corresponde al segundo caso, con concentraciones promedio de 7.757 (± 7.8) $\mu\text{g/l}$, 19.77 (± 18.9) $\mu\text{g/l}$ y 21.71 (± 23.9) $\mu\text{g/l}$ para la superficie, profundidad media y el fondo respectivamente y 6.78 (± 12.1) $\mu\text{g/l}$, 7.506 (± 10.9) $\mu\text{g/l}$ y 29.29 (± 35.8) $\mu\text{g/l}$ para la superficie, profundidad media y el fondo respectivamente del Lago Carraízo (Fig. 25 b,a). Este incremento en Cu se podría deber a la sedimentación del mismo y subsecuente descomposición en el fondo de cobre sistónico o por difusión de compuestos orgánicos de Cu, posiblemente complejos de amino-sulfido de cobre de los sedimentos (Hutchinson, 1957).

Por último, aparentemente la única estación que sobrepasó los límites máximos permisibles de cobre por el reglamento de calidad de agua de la Junta de Calidad Ambiental fue la estación del Río Caguitas, con concentraciones promedio de 118.5 y 81.22 $\mu\text{g/l}$ para la superficie y fondo, respectivamente comparados con el estándar de 40 $\mu\text{g/l}$ impuesto para aguas superficiales (JCA, 1976).

La detección de concentraciones apreciables de mercurio (Hg^{+2} , Hg^{+1}) en los tributarios y en el Lago Carraízo comprueba el grado de contaminación cultural al que ha llegado la cuenca del Río Grande de Loíza. Tres de las cuatro estaciones mostraron el mismo patrón de distribución vertical del Hg en la columna de agua, exhibiendo un incremento en la concentración de Hg con aumento en la profundidad (Río Grande de Loíza, Río Caguitas, Lago Carraízo), mientras que el Río Gurabo mostró un incremento en la concentración de Hg en la profundidad media (Figs. 26 y 27). Las estaciones del Río Grande de Loíza y el Río Caguitas mostraron los valores máximos de Hg en la columna de agua, mostrando concentraciones promedio de 0.8347 (± 0.675) $\mu\text{g}/\text{l}$ y 1.09 (± 0.99) $\mu\text{g}/\text{l}$ para la superficie y fondo respectivamente del Río Grande de Loíza y valores promedio de 0.905 (± 0.40) $\mu\text{g}/\text{l}$ y 1.07 (± 0.48) $\mu\text{g}/\text{l}$ para la superficie y el fondo del Río Caguitas respectivamente. El Lago Carraízo exhibió valores promedio de 0.7435 (± 0.6) $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.7768 (± 0.62) $\mu\text{g}/\text{l}$ y 0.7941 (± 0.70) $\mu\text{g}/\text{l}$ de Hg para la superficie, profundidad media y fondo, respectivamente. Sin lugar a dudas, en estas tres estaciones el fondo constituye el almacenaje principal del Hg total, ya que en los sedimentos habitan bacterias capaces de sintetizar vitamina B-12 y transformar compuestos arilos inorgánicos y alcoxilalquil orgánicos en dos formas orgánicas: monometil mercurio (CH_3Hg) y dimetil mercurio ($(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$) el cual es más volátil (Smith, 1977). Entre formas inorgánicas dominantes estarían el nitrato de mercurio (NO_3Hg), cloruro de mercurio (ClHg), sulfato de mercurio (HgSO_4) y sulfido de mercurio (HgS) entre otros (Burkstaller & Mc Carty, 1975).

FIG. 26 DISTRIBUCION VERTICAL DEL MERCURIO TOTAL Y CADMIO EN (A) RIO CAGUITAS Y (B) RIO GRANDE DE LOIZA

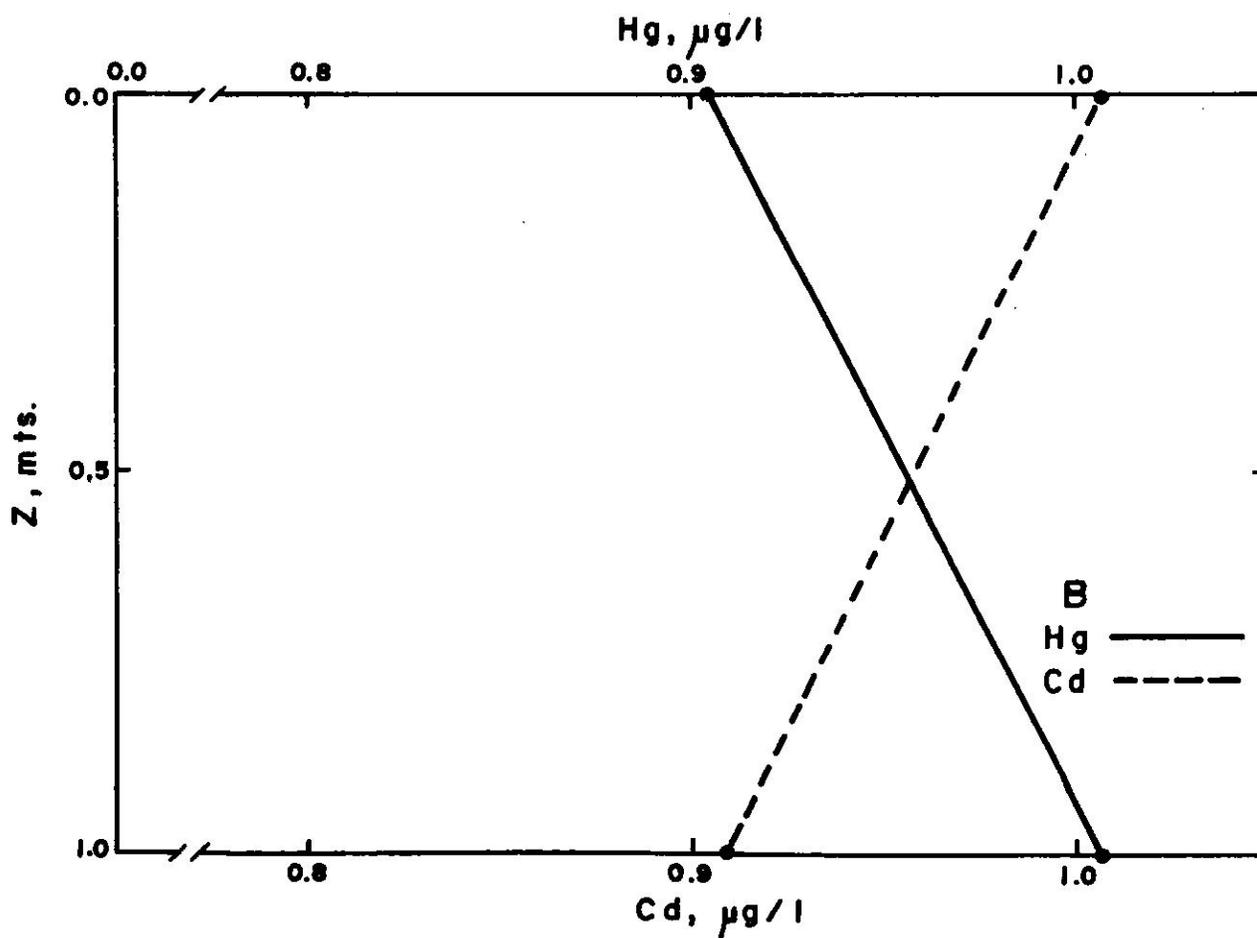
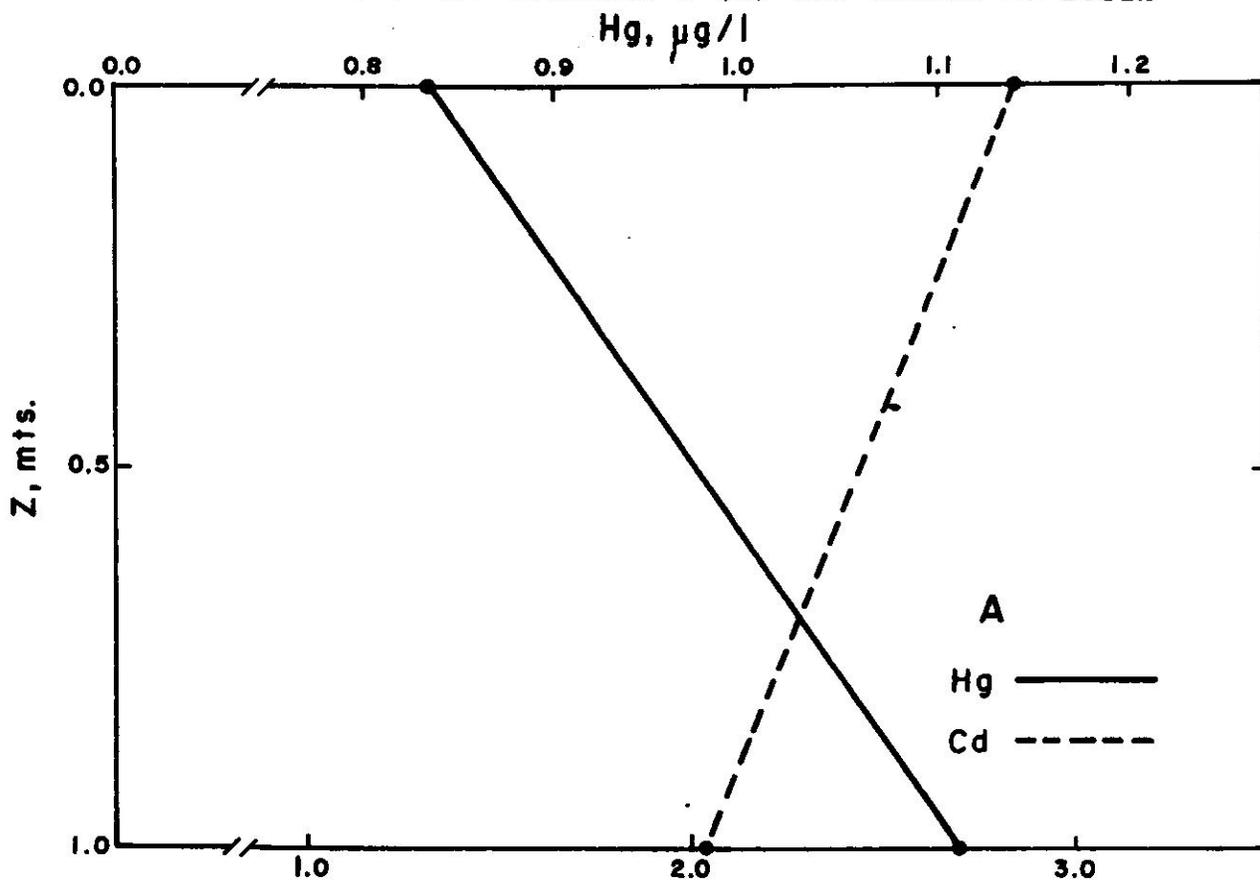
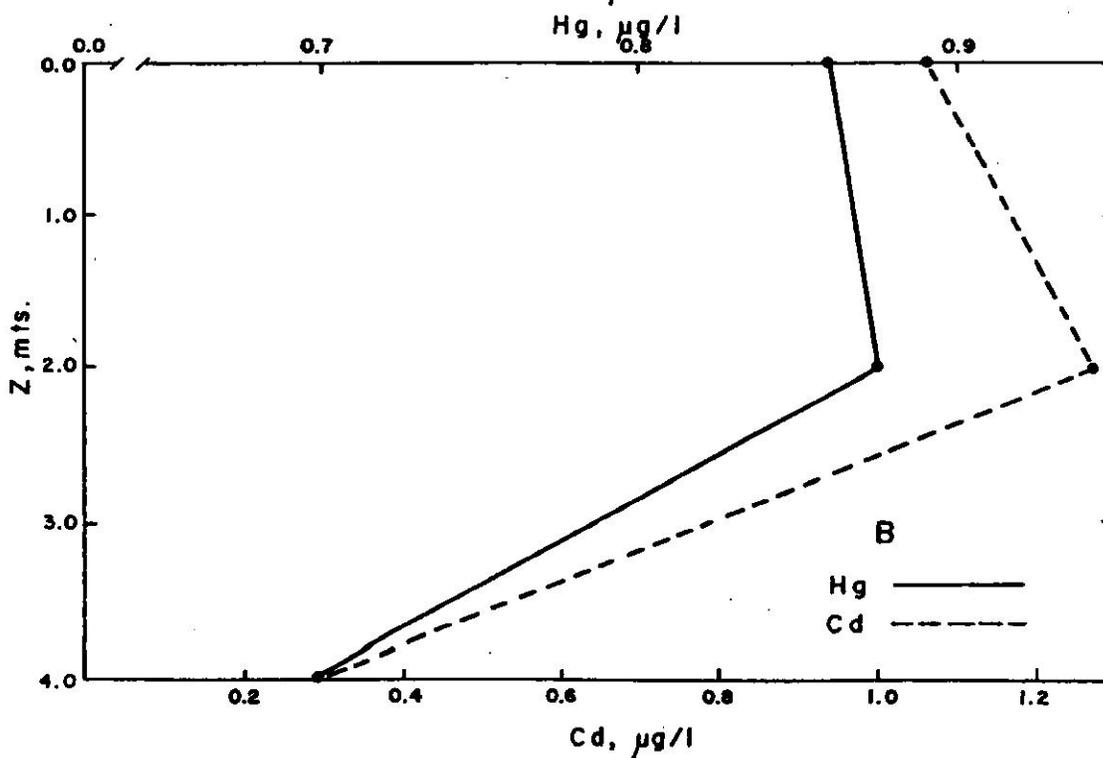
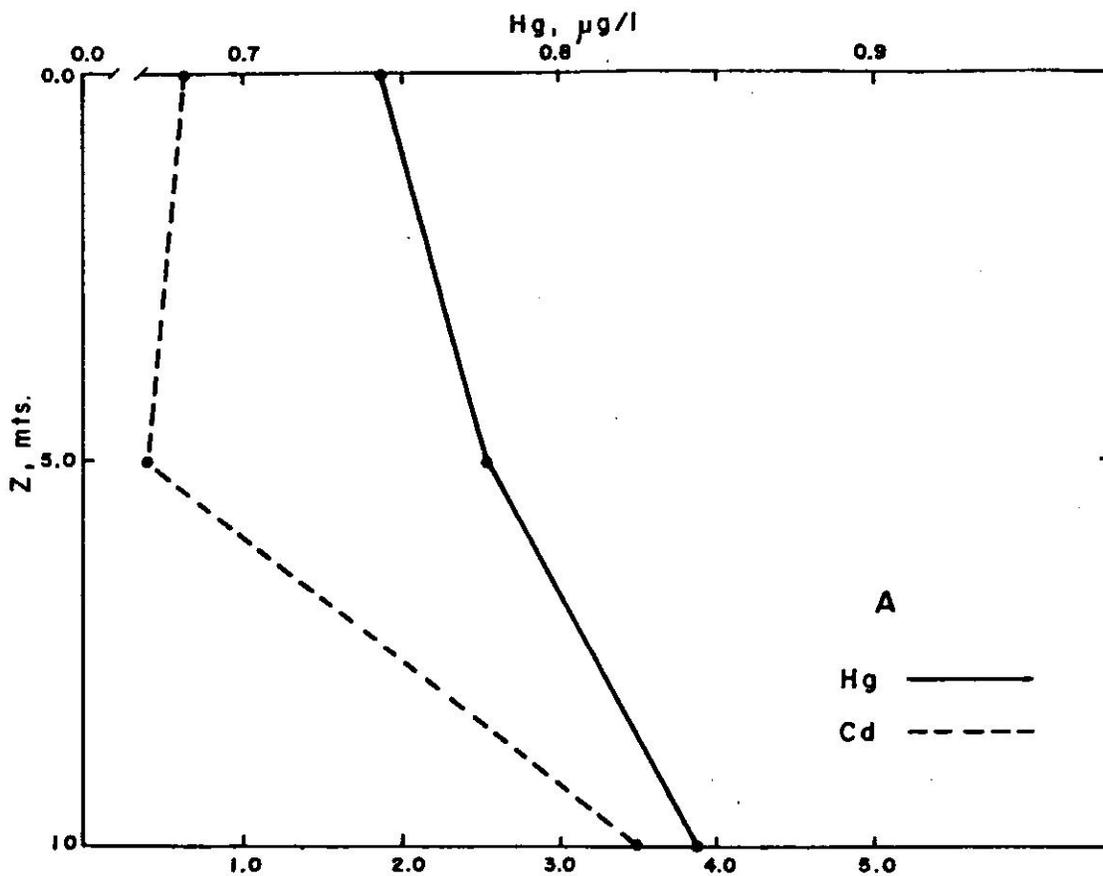


FIG.27 Distribución vertical del mercurio total y cadmio en el Lago Carraízo (A) y el Río Gurabo (B)



Por otro lado, el mercurio total parece estar ligado al mismo estrato presente en la profundidad media, probablemente en forma particulada o suspendida. Las concentraciones promedio en la columna de agua fueron de 0.8608 (± 0.65) $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.8711 (± 0.83) $\mu\text{g}/\text{l}$ y 0.6972 (± 0.45) $\mu\text{g}/\text{l}$ para la superficie, profundidad media y fondo, respectivamente. Aunque la mayor parte del Hg total se encuentre en la profundidad media en este tributario, es de pensar que el fondo constituye el sustrato principal del Hg, ya que a este tributario descarga la fábrica de termómetros de Juncos, en el cual se determinó una concentración de 1,390 ppb. de Hg en los sedimentos del río vecino a la descarga de la planta (García-Castro, 1980a). Esto sugiere que el mercurio total presente en la profundidad media se encuentre en la forma inorgánica.

En el caso de la estación del Río Grande de Loíza, la forma de Hg que pudiese prevalecer sería la forma orgánica, ya que las condiciones aeróbicas de la estación favorecerían la metilación del Hg (Smith, 1977). Sin embargo, la presencia de grandes cantidades de material orgánico en los sedimentos en el Río Caguitas promoverían a la forma inorgánica, como es el caso del Río Gurabo. En la estación del Lago Carraízo, lugar en que prevalecen las condiciones anaeróbicas en el fondo, favorecerá la formación del altamente insoluble sulfido de mercurio (HgS).

Por otro lado, aunque las concentraciones de Hg determinadas en la columna de agua de los tributarios principales y el Lago Carraízo resulten a la par o inferiores al estándar propuesto por la Junta de Calidad Ambiental en su reglamento (JCA, 1976), estas

cantidades resultan excesivamente altas comparadas con la concentración del mercurio promedio en condiciones ambientales típicas de 0.03 $\mu\text{g}/\text{l}$ (U.S. EPA, 1975). Sin duda alguna, los niveles de mercurio reportados en este estudio son un indicador de la contaminación cultural a la cual está sometida la cuenca hidrográfica. Este aspecto debería de ser de suma importancia, dada la serie de consecuencias a la salud pública que manifiesta el mercurio.

Los niveles de cadmio (Cd^{+2}) y plomo (Pb^{+2}) determinados en los tributarios principales y el Lago Carraízo mostraron ser de menor envergadura dominado por valores extremos en el caso del cadmio (Cd^{+2}) y de carácter intermitente para el plomo (Pb^{+2}). En el caso del Cd, los valores máximos detectados se obtuvieron en la estación del Río Grande de Loíza, seguido por el Río Gurabo, el Río Caguitas y el Lago Carraízo. Para el primer caso, las concentraciones de Cd en la columna de agua del Río Grande de Loíza mostraron un patrón de distribución vertical de decrecimiento con la profundidad, con valores de 2.858 (± 4.817) $\mu\text{g}/\text{l}$ y 2.036 (± 2.53) $\mu\text{g}/\text{l}$ para la superficie y el fondo, respectivamente (Fig. 26b). La estación del Río Caguitas mostró un patrón similar a la estación del Río Grande de Loíza, con valores promedio de 1.0756 (± 0.9895) $\mu\text{g}/\text{l}$ y 0.9092 (± 1.245) $\mu\text{g}/\text{l}$ respectivamente (Fig. 26a). El patrón de distribución en la columna de agua para ambas estaciones puede deberse a que la mayor parte del Cd se encuentra depositado en los sedimentos bajo las condiciones aeróbicas y de limitada profundidad. Sin embargo, la estación del Río Gurabo demostró que la mayor parte del Cd se

encuentra suspendido o en forma particulada en la profundidad media (Fig. 27b), ya que la concentración mayor se detectó en ese estrato. Los valores promedio para esta estación fueron de 1.143 (± 1.464) $\mu\text{g}/\text{l}$, 1.271 (± 1.969) $\mu\text{g}/\text{l}$ y 0.299 (± 0.7323) $\mu\text{g}/\text{l}$ para la superficie, profundidad media y fondo respectivamente.

Contrario a las demás, la estación del Lago Carraízo mostró un marcado aumento en la concentración del Cd en el fondo. Esta marcada diferencia en los valores (0.6646 \pm 1.0603, 0.4033 \pm 0.9879 y 3.563 \pm 7.463 $\mu\text{g}/\text{l}$ para la superficie, profundidad media y fondo respectivamente) demuestra que el centro de acumulación del Cd se encuentra en el fondo debido a la regeneración del metal a la fase acuosa producto de la descomposición masiva de los jacintos de agua en el fondo. Esta regeneración viene como producto de la habilidad que posee la macrófita acuática de acumular metales en sus tejidos, que al ocurrir un cambio en el estado oxidativo de los sedimentos ejerza una mayor influencia en la dinámica de los metales traza (Mc Intosh *et al*, 1978).

Por otro lado, los valores determinados para Cd en la superficie para el Río Grande de Loíza y el Río Caguitas resultaron superiores a los reportados por Quiñones-Márquez (1980) de 1 $\mu\text{g}/\text{l}$ para ambas estaciones respectivamente e inferiores para las estaciones del Río Gurabo y el Lago Carraízo, con valores de 2 y 1 $\mu\text{g}/\text{l}$ respectivamente. Ninguna de las concentraciones determinadas del Cd en la presente investigación violaron el estándar de 5.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ establecido por el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de la Junta de Calidad Ambiental (JCA, 1976).

En el caso del Pb, los valores promedio registrados no son representativos de la concentración del Pb a través del período de estudio, ya que la intermitencia con que se produjo no permitió esquematizar la distribución de éste verticalmente en las estaciones en que se registró. Sin lugar a dudas, la presencia de este metal en las aguas de la cuenca es producto muy probablemente de las descargas industriales a los tributarios del Lago Carraízo.

Oxígeno Disuelto y Temperatura:

El perfil de las concentraciones de oxígeno disuelto (DO) mostrado en la estación del Lago Carraízo y el Río Gurabo fue el catalogado por Hutchinson (1957) como de curva de clinogrado, mientras que las estaciones del Río Grande de Loíza y el Río Caguitas, debido a su escasa profundidad, mostraron una distribución más uniforme en la columna de agua. En cuanto a la temperatura, la distribución del calor en la columna de agua es de tipo oligomítico para todas las estaciones (Hutchinson, 1957). Un aspecto de suma importancia en el contenido del oxígeno disuelto en las estaciones del Lago Carraízo y el Río Gurabo fue la diferencia significativa en las concentraciones del oxígeno disuelto en días soleados y lluviosos, lo que se puede atribuir a una disminución en la actividad fotosintética y un aumento en la concentración del CO_2 . Además, la distribución de la temperatura en la columna de agua es más uniforme en los primeros cuatro metros para la estación del Lago Carraízo y los primeros dos metros para la estación del Río Gurabo. En el Lago Carraízo (Fig. 28a) durante los días soleados se registran los máximos en la

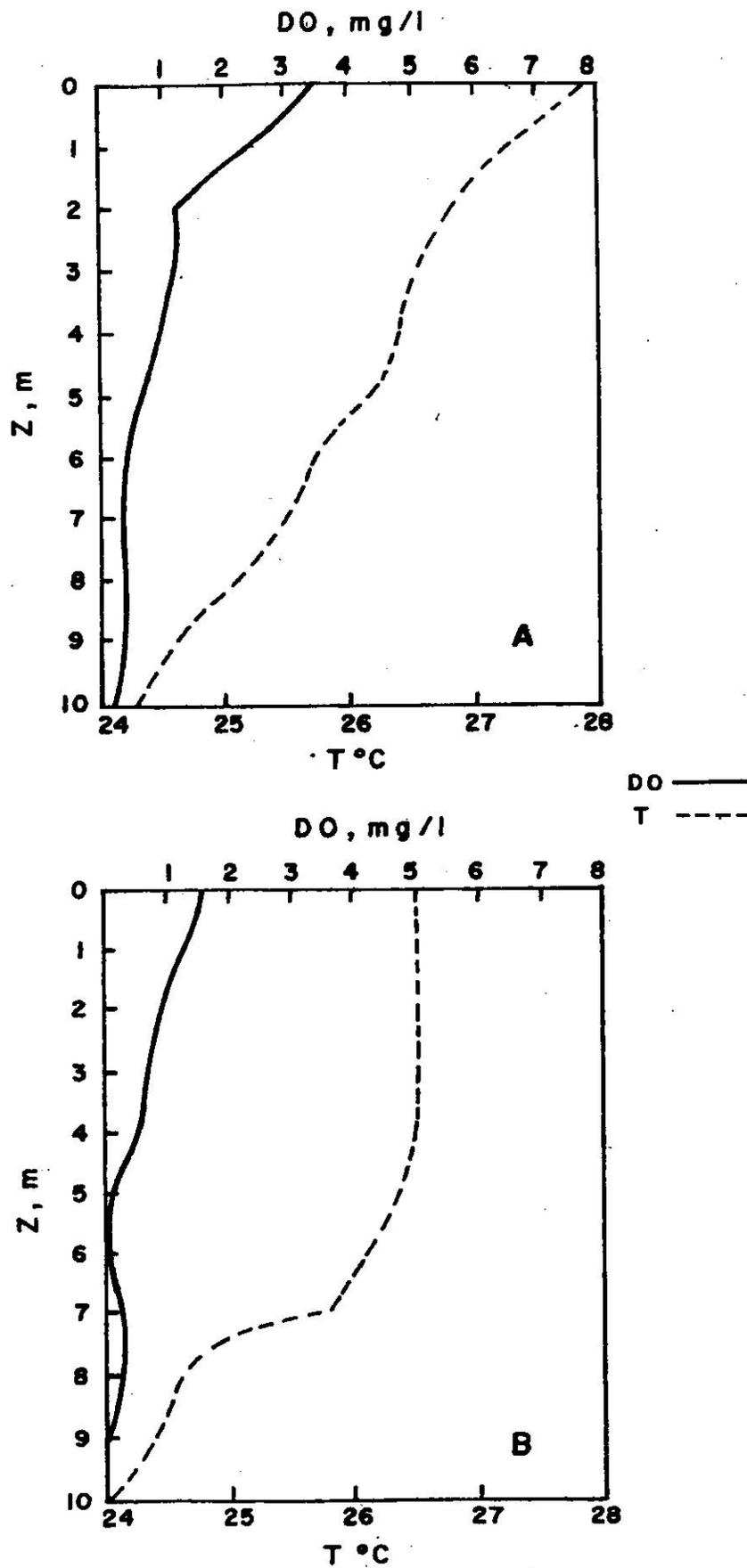


FIG. 28 Distribución del oxígeno disuelto y temperatura del Lago Carraízo: (A) soleado y (B) nublado

concentración de oxígeno disuelto en la superficie, exhibiendo una disminución marcada hasta llegar a condiciones casi anóxicas a la profundidad de diez metros.

Contrario a esto, en días lluviosos la producción del oxígeno disuelto se reduce en un 50% en la superficie, hasta alcanzar condiciones de total anoxia a los nueve metros (Fig. 28b). Sin embargo, el cambio en temperatura es más gradual en días lluviosos, lo que desplaza el termocline a la profundidad de siete metros. Para el Río Gurabo (Fig. 29a) la concentración del oxígeno disuelto en días soleados fue máxima y similar al Lago Carraízo, con la diferencia que después de los dos metros de profundidad la concentración del O_2 resulta ser más uniforme, debido a la menor profundidad del Río Gurabo. Sin embargo, el gradiente en temperatura es más marcado en el Río Gurabo que en el Lago Carraízo. Por el contrario, el perfil de O_2 en días lluviosos cambia totalmente en esta estación (Fig. 28b). Aunque la concentración del oxígeno disuelto disminuye en un 50% en la superficie, ésta va aumentando ligeramente hasta llegar a un máximo a los dos metros de profundidad, similar a un máximo metalimnético o una curva heterogrado positiva. El máximo metalimnético observado durante días lluviosos podría ser producto del decrecimiento en la solubilidad del oxígeno disuelto en la superficie con aumento en temperatura, mientras que el consumo de O_2 en el fondo resulta en un perfil de clinogrado con aumento en profundidad, lo que resulta en un máximo de O_2 absoluto en la profundidad media (Wetzel, 1975).

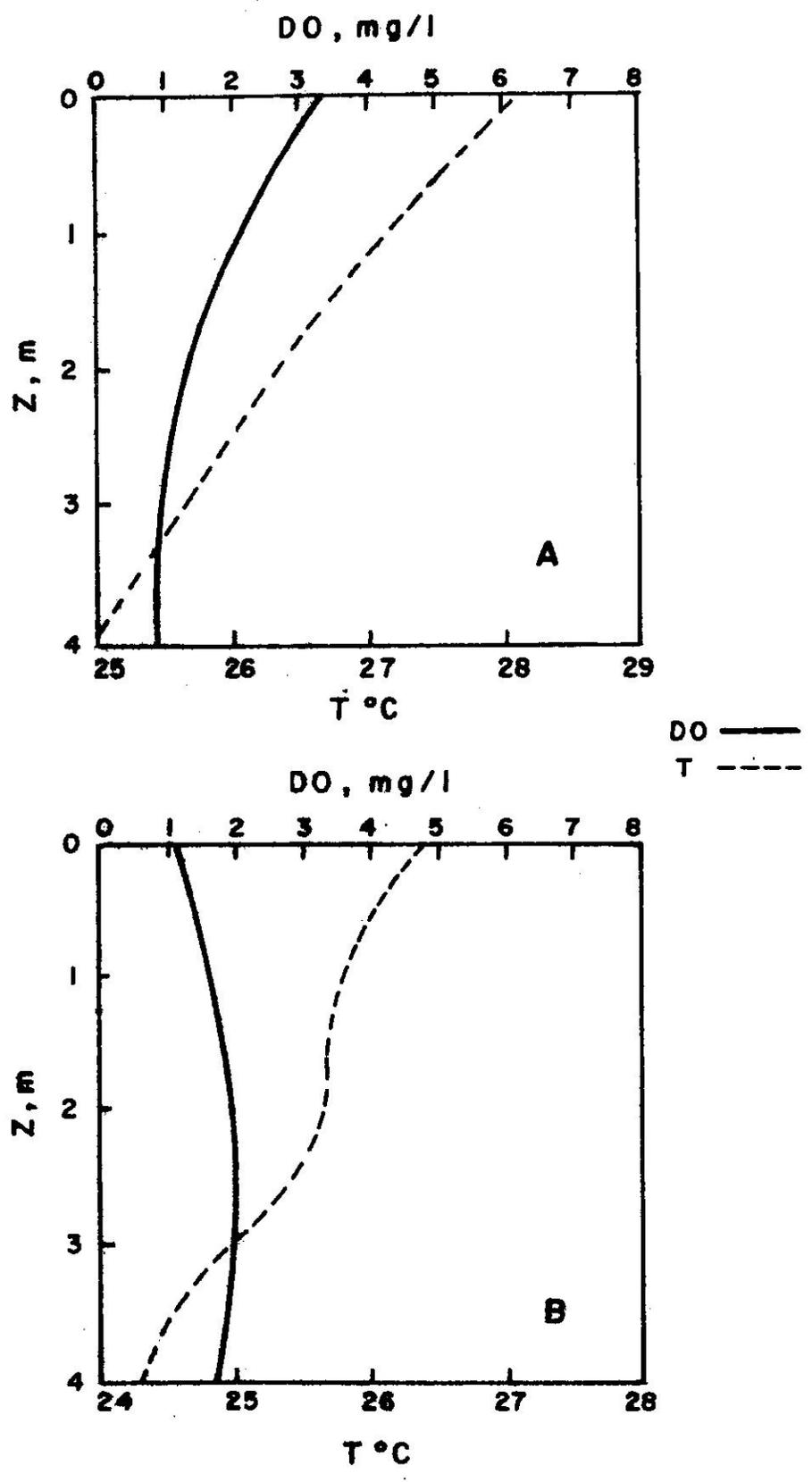


FIG. 28 CURVA DE OXIGENO DISUELTU Y TEMPERATURA PARA EL RIO GURABO (A) SOLEADO Y (B) NUBLADO

En promedio, ambas estaciones exhiben un perfil de clinogrado, sin embargo, los cambios en la concentración del O_2 son más marcados en el Lago Carraízo, mientras que los cambios en temperatura son más evidentes en el Río Gurabo (Fig. 30). Esta reducción en el gradiente termal podría atribuirse a la presencia de diversas capas de diferente densidad o a la posible presencia del quimocline, provocadas por la turbulencia de los tributarios del río.

La presencia de condiciones anóxicas permanentes en el Lago Carraízo juega un papel muy importante en la liberación y circulación de nutrientes al sistema, lo que favorecerá el crecimiento profuso del "super jacinto" en esa región, lo que al final ha contribuido significativamente a la hipereutroficación del Lago Carraízo. Por otro lado, no se observaron cambios significativos en los perfiles de oxígeno disuelto en la columna de agua del Río Caguitas y el Río Grande de Loíza (Fig. 31) en días soleados ni nublados, pero sí una tendencia a mantener una temperatura más uniforme a través de la columna de agua, atribuido a la escasa profundidad de ambas estaciones (1m). Un aspecto de notable relevancia es la distribución del perfil de oxígeno del Río Grande de Loíza, ya que siempre resultó máximo en días soleados como en nublados, resultado de la aereación mecánica por parte del viento y a la actividad fotosintética de la estación.

En promedio, la estación del Río Grande de Loíza mostró los valores máximos de oxígeno disuelto en las cuatro estaciones estudiadas (Fig. 30), con un valor de 5.68 (± 0.80) mg/l contra valores promedio de 1.18 (± 1.05) mg/l, 2.56 (± 2.10) mg/l y

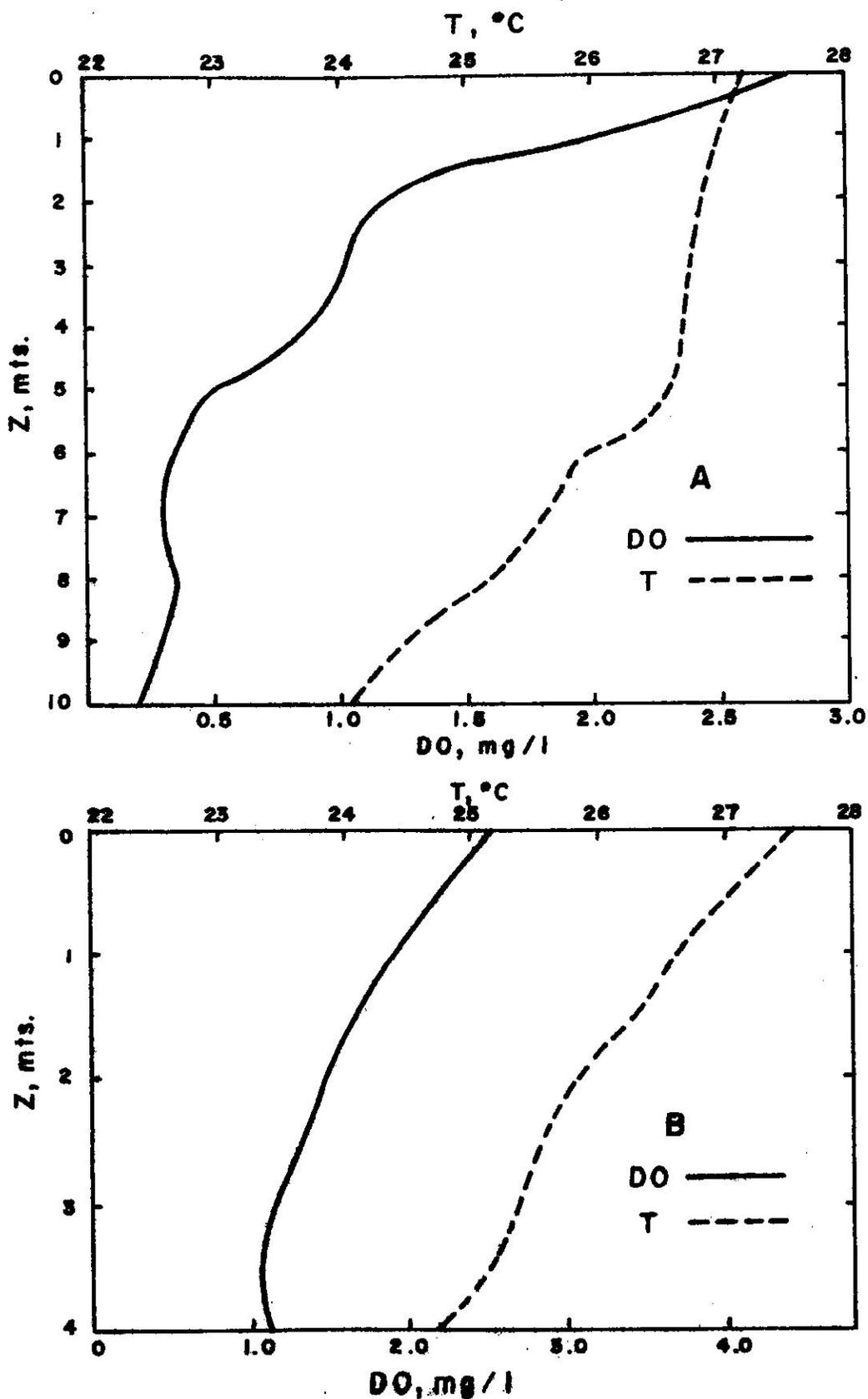


FIG. 30 CURVA DE DISTRIBUCION DE OXIGENO Y TEMPERATURA - EN (A) LAGO CARRAÍZO Y (B) RIO GURABO

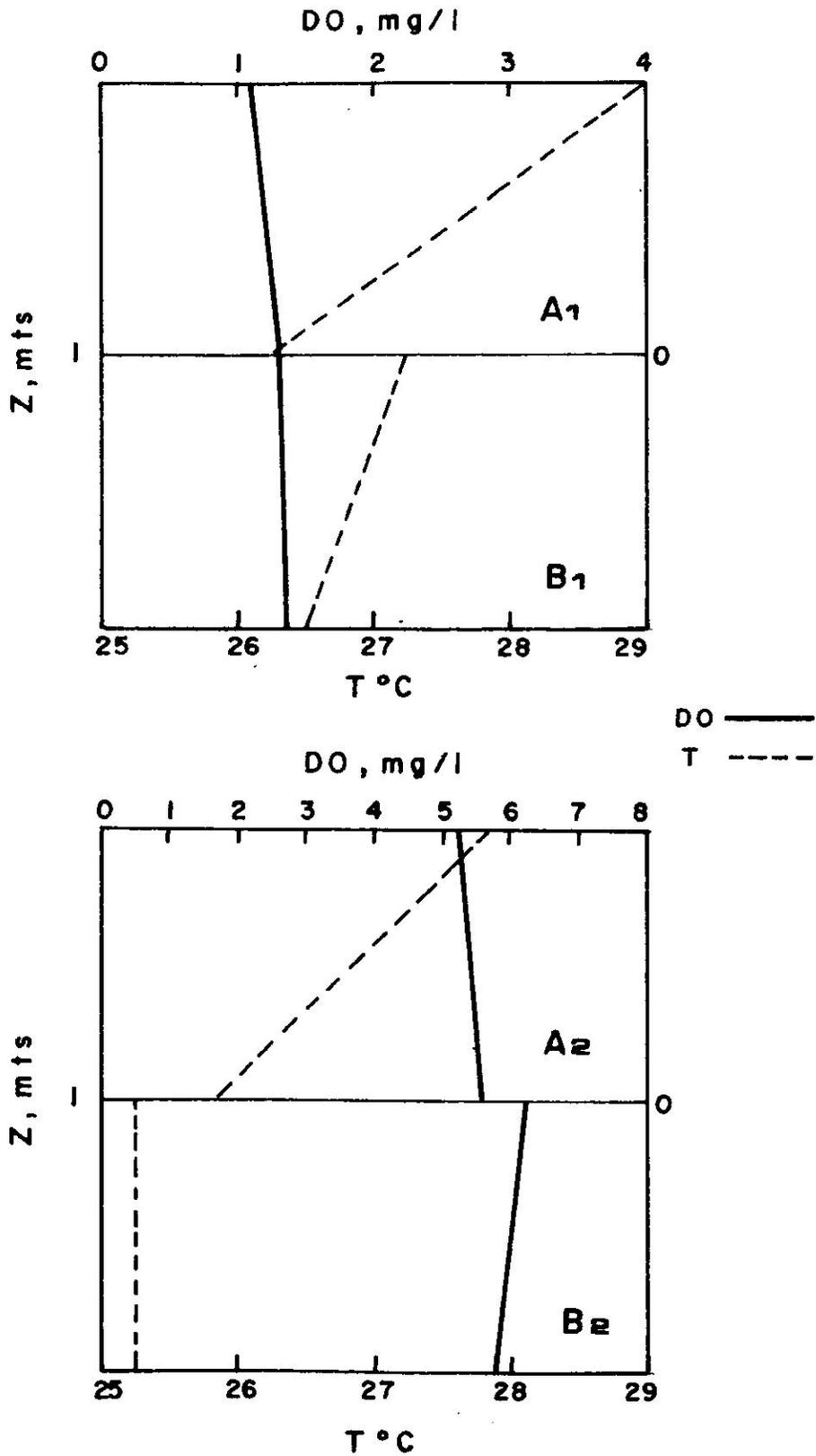


FIG. 31 CURVA DE OXIGENO DISUELTU Y TEMPERATURA EN EL RIO CAGUITAS (A1) SOLEADO (B1) NUBLADO Y RIO G. DE LOIZA (A2) SOLEADO (B2) NUBLADO

2.8 (± 1.68) mg/l para las estaciones del Río Caguitas, Río Gurabo y Lago Carraízo, respectivamente. Por el contrario, la estación del Río Caguitas mostró los menores valores observados, mostrando un ligero aumento en la concentración con aumento en la profundidad, probablemente debido a la producción de metano (CH_4), hidrógeno sulfuroso (H_2S) e hidrógeno (H_2) que interfirieron con las lecturas del O_2 en el metro electrónico para medir el oxígeno disuelto, al burbujear éstos continuamente hacia la superficie.

Generalizando, la estación del Río Grande de Loíza es la estación que más saludable se encuentra en cuanto a concentración de oxígeno se refiere, lo que influye grandemente en que gran parte de los fosfatos se encuentren atados en el fondo. Es probable que esta estación contenga la mayor concentración de fitoplancton y, por lo tanto, una mayor población de zooplancton, dadas las condiciones presentes. Este aspecto podría influir positivamente en la transición trófica, ya que poseería características híbridas (oligotróficas-eutróficas).

pH:

Los valores observados en las cuatro estaciones durante el período de estudio se resumen en la Tabla 14. De estos datos se puede generalizar que el pH va decreciendo a medida que se avanza río abajo hacia el Lago Carraízo, como de igual manera disminuye con el aumento en la profundidad, a excepción del Río Grande de Loíza, en que se mantiene igual y del Río Caguitas, el cual registra un ligero aumento. El valor máximo observado de las cuatro estaciones correspondió al Río Grande de Loíza, el cual

TABLA 14: MEDIANO, MAXIMO Y MINIMO DE LOS VALORES DE pH EN LA COLUMNA DE AGUA PARA LOS TRES TRIBUTARIOS PRINCIPALES Y EL LAGO CARRAIZO

ESTACION	PROFUNDIDAD (m)	MED.	pH MAX.	MIN.
Río Grande de Loíza	0.5	7.50	7.65	7.36
	1.0	7.50	7.61	7.37
Río Caguitas	0.5	7.16	7.20	7.14
	1.0	7.18	7.29	7.16
Río Gurabo	0.5	7.15	7.32	6.68
	2.0	7.02	7.12	6.62
	4.0	6.91	7.06	6.68
Lago Carraízo	0.5	6.95	7.30	6.93
	5.0	6.94	7.14	6.71
	10.0	6.90	7.40	6.62

se podría deber a la formación geológica y a la actividad fotosintética ejercida. El Río Caguitas, aunque posea un insumo significativo de materia orgánica, posee un sistema de amortiguadores naturales debido a los depósitos aluviales que forman la geología del área. Sin embargo, la disminución del pH con aumento en la profundidad reflejados en el Río Gurabo y el Lago Carraízo se deben a la descomposición y regeneración de materia orgánica en el fondo (Wetzel, 1975). Estos datos parecen concordar con la disminución en pH con aumento en la profundidad en el Lago Carraízo que fuera

reportados por Martínez (1979). Sin lugar a dudas, el volumen de carga orgánica al cual se someten el Río Gurabo y el Lago Carraízo por el reciclaje de nutrientes al sistema es la causa principal de la estratificación en pH con aumento en la profundidad.

Conductividad Específica y Total de Sólidos Disueltos:

La medida de la resistencia al flujo de electrones en el agua está asociada directamente con la cantidad de iones o sólidos que estén disueltos en el agua. Los valores promedio, máximos y mínimos de la conductividad específica y los valores promedio de la concentración de sólidos disueltos se resumen en la Tabla 15.

Según los resultados obtenidos, la estación del Río Caguitas obtuvo, además del total de sólidos disueltos, los valores máximos, seguido del Río Gurabo, el Lago Carraízo y el Río Grande de Loíza. En todas las estaciones la conductividad disminuyó con incremento en la profundidad (Figs. 32 y 33). Para la estación del Lago Carraízo y el Río Gurabo mostró una marcada diferencia entre la superficie y el fondo, lo que sugiere que no existe circulación en la columna de agua, y sí estratos o capas de distinta densidad. Los máximos observados en la superficie probablemente se deban a la concentración de bicarbonatos y carbonatos existentes en la superficie, comprobados ya con los valores de alcalinidad. Sin embargo, esto sugiere que la materia orgánica que se recircula en ambos sistemas esté en forma particulada o suspendida, como es el caso del incremento en las dinámicas de manganeso, cobre, cadmio, fosfatos y otros.

Por otro lado, el perfil de conductividad específica en el Río Grande sugiere buena circulación de los sólidos disueltos en

FIG. 32
DISTRIBUCION DE LA CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA (A) RIO CAGUITAS
Y (B) RIO GRANDE DE LOIZA

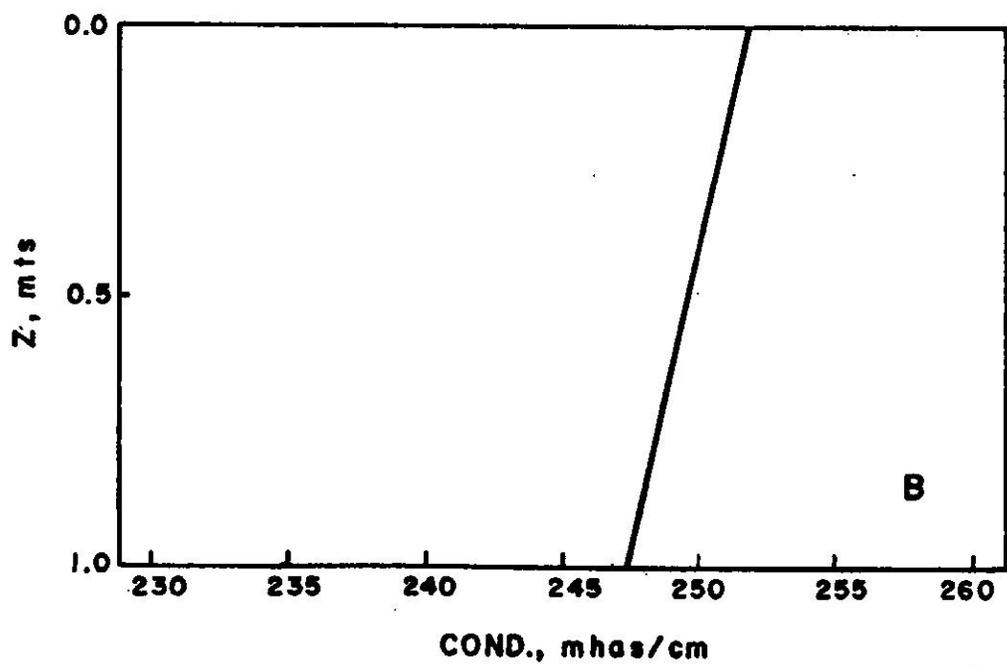
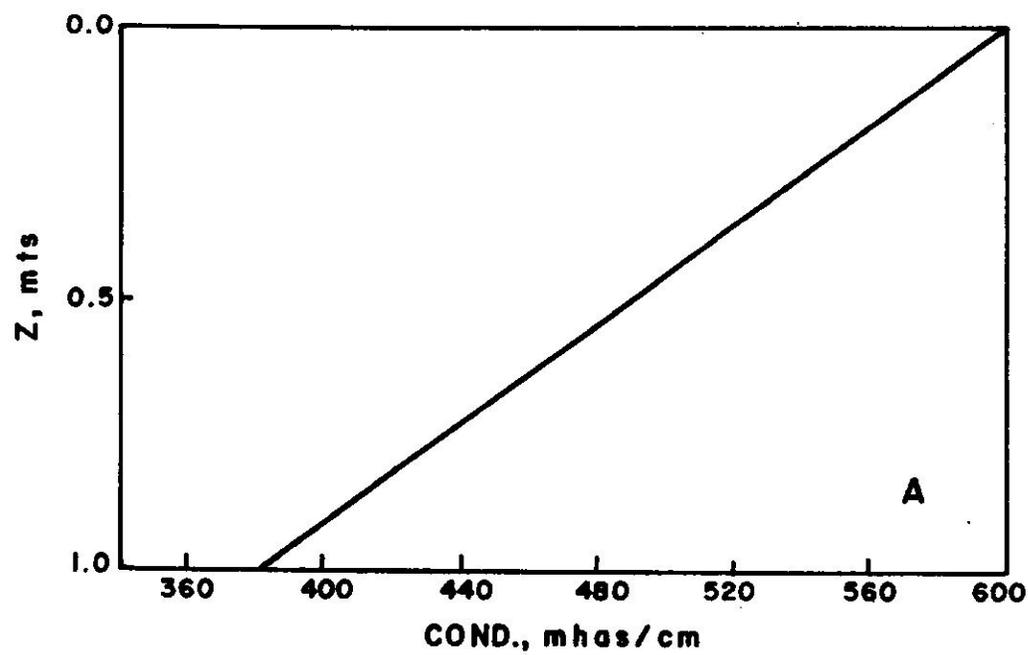


FIG. 33 DISTRIBUCION DE LA CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA
(A) LAGO CARRAIZO Y (B) RIO GURABO

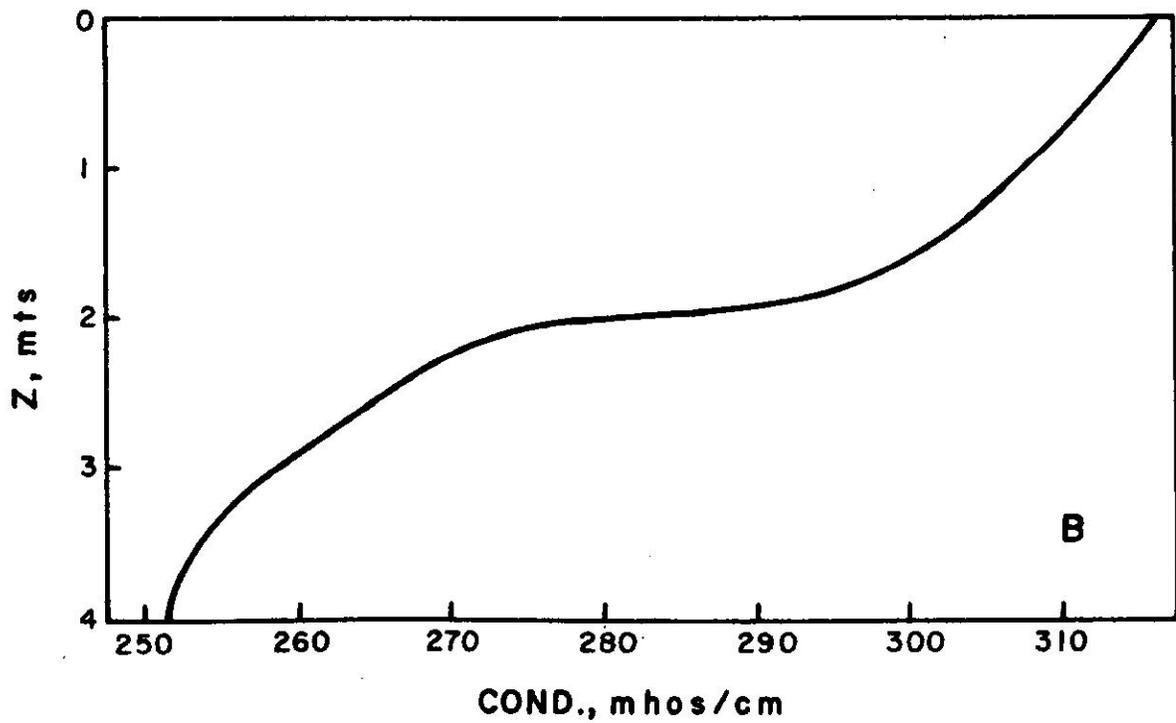
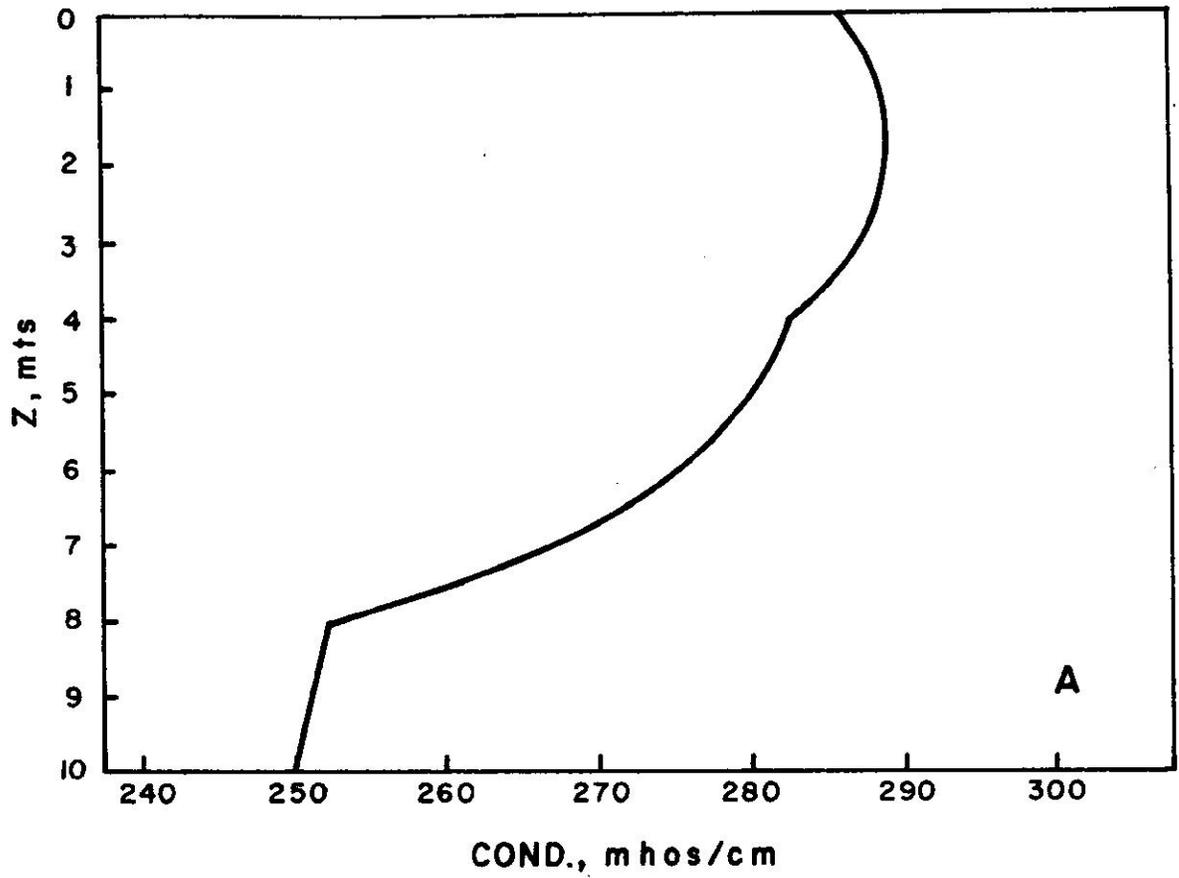


TABLA 15: VALORES PROMEDIO, MAXIMOS Y MINIMOS DE CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA Y MEDIA ARITMETICA DEL TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS EN LOS TRES TRIBUTARIOS PRINCIPALES Y EL LAGO CARRAIZO*

ESTACION	PROFUNDIDAD (m)	PROM.	CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA (μ hos/cm)		TOTAL SOLIDOS DISUELTOS (mg/l)
			MAX.	MIN.	
Río Grande de Loíza	0.5	252.4	300	210	164.06
	1.0	248.2	280	210	161.3
Río Caguítas	0.5	597	800	485	388.1
	1.0	381	500	310	247.7
Río Gurabo	0.5	316.8	380	240	205.9
	2.0	279.1	347	198	181.5
	4.0	251.5	342	186	163.5
Lago Carraízo	0.5	285.7	320	260	185.7
	5.0	280.3	312	219	182.1
	10.0	242.8	280	210	156.7

*Para las estaciones del Río Gurabo y Lago Carraízo sólo se tomaron 3 perfiles con el propósito de tabular los datos.

comparación con el Río Caguitas, el que exhibió una estratificación en su escasa profundidad (Fig. 32a). En vista de los valores superiores en la conductividad específica observados en el Río Caguitas, se intentó correlacionar los valores promedio en la conductividad y el crecimiento del jacinto de agua en las cuatro estaciones (Fig. 34), de donde se obtuvo una relación inversa entre el crecimiento del jacinto y la conductividad específica. A tales efectos, se determinó que el cobre (Cu^{+2}) es un factor limitante en el crecimiento pobre del jacinto de agua en el Río Caguitas (Fig. 35).

Estudios realizados por Churchill (según Hutchinson, 1957) demostraron que ciertas plantas acuáticas multicelulares, pertenecientes a los géneros *Riccia* sp. y *Lemma* sp. eran susceptibles a la exposición de concentraciones bajas de Cu de $30\text{mg}/\text{m}^3$. Este hallazgo, aunque no definitivamente, podría ejercer un efecto detrimental en el crecimiento de la planta, ya que la concentración de Cu promedio en la superficie del Río Caguitas fue de $118.45\text{ mg}/\text{m}^3$ ($118.45\text{ }\mu\text{g}/\text{l}$). Este es un aspecto que merece especial atención en los posibles efectos inhibidores que pueda tener el Cu en el crecimiento y desarrollo del jacinto de agua.

Finalmente, los valores de conductividad específica para la superficie de las estaciones del Río Grande de Loíza, Río Caguitas, Río Gurabo y el Lago Carraízo fueron comparables con los reportados por Quiñones-Márquez (1980) en su estudio. Es notable comentar la similitud en el valor máximo registrado por Quiñones-Márquez en el Río Caguitas y el presente estudio, registrando conductividades máximas de $800\text{ }\mu\text{hos}/\text{cm}$, lo que indica unos antecedentes tempranos de descargas domésticas a la cuenca del Río Caguitas.

FIG. 34 CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA POR ESTACION CONTRA RENDIMIENTO EN KILOGRAMOS
 POR METRO CUADRADO

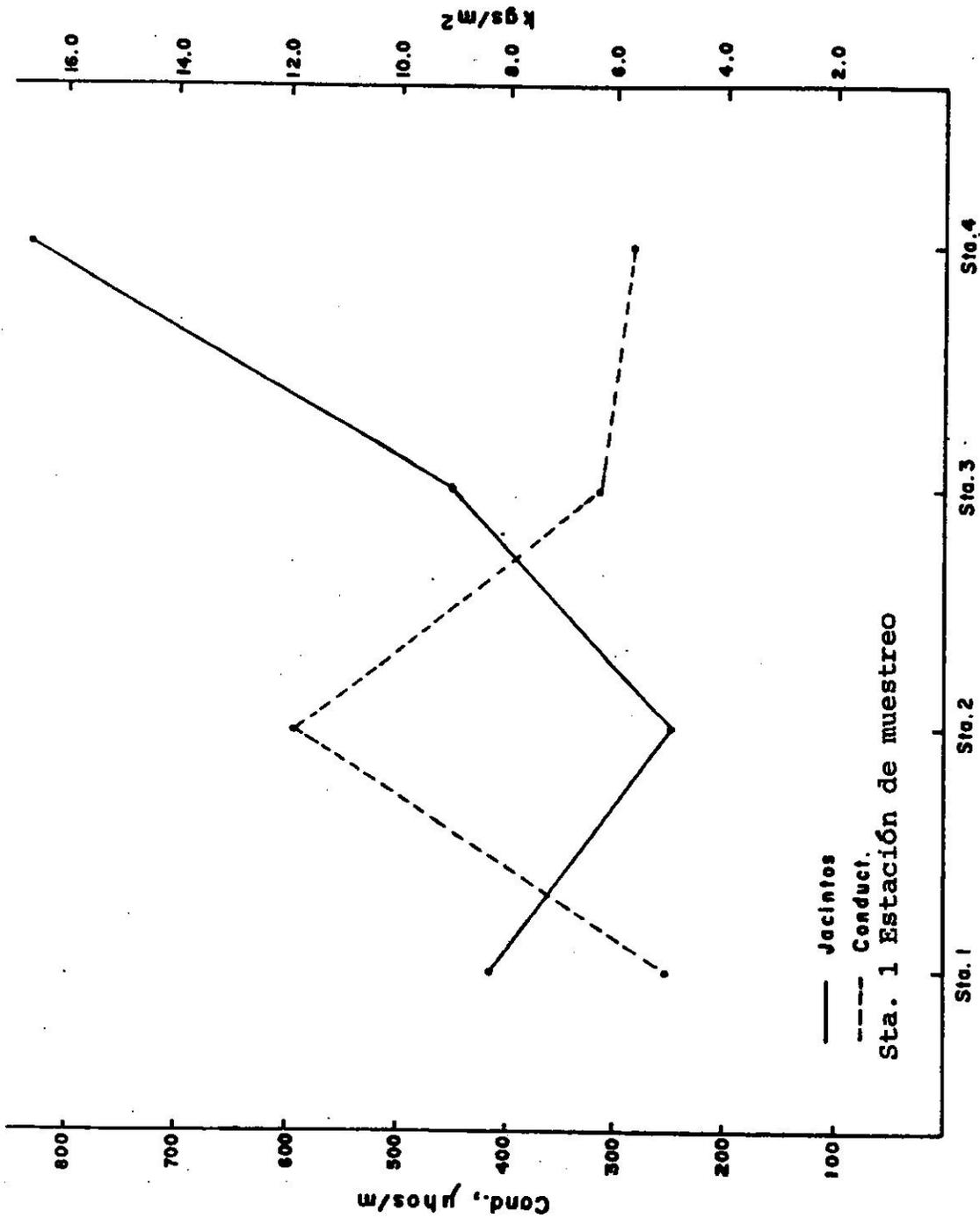
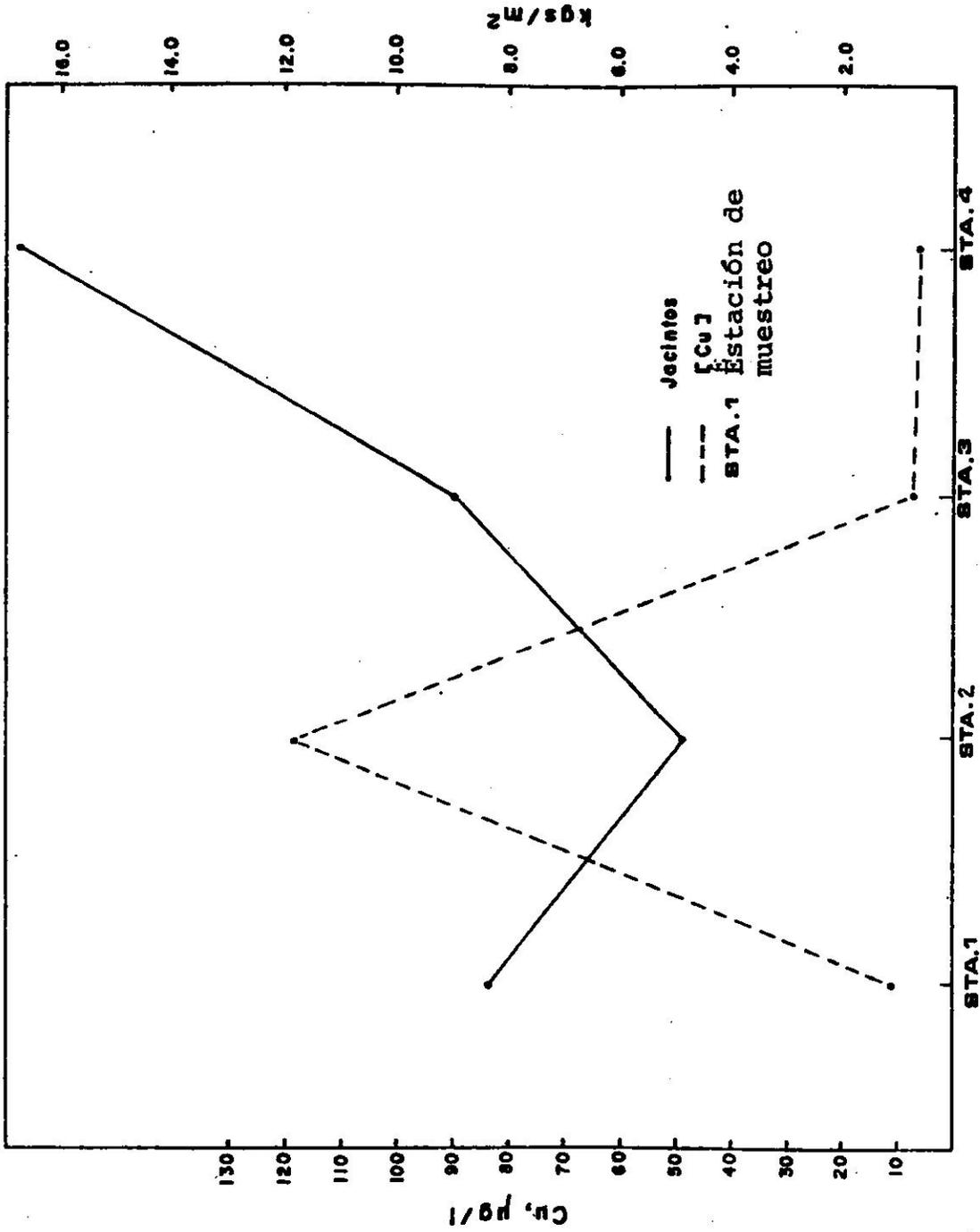


FIG. 35 CONCENTRACION DE COBRE POR ESTACION COMPARADO CON EL RENDIMIENTO EN KILOGRAMOS POR METRO CUADRADO POR ESTACION



Iluminación y Transparencia:

La iluminación de las capas superficiales en los lagos o embalses varía según la intensidad de luz y la transparencia del agua que, a su vez, es función de la luz atenuada y la materia particulada o suspendida presente en la columna de agua. En términos del porcentaje de penetración de luz en la superficie de los tributarios principales y el Lago Carraízo, se encontró una variación entre el porcentaje de penetración de luz entre las distintas estaciones para los días soleados y días nublados. Para las estaciones del Río Grande de Loíza y el Río Caguitas, la penetración de luz a la profundidad de un metro fue de sólo 2.57% para la primera y mayor en la segunda, con un 8.08%. En días soleados, la penetración de la luz disminuye en ambas estaciones, decreciendo a un 1.56% en el Río Grande de Loíza y a un 3.16% en el Río Caguitas (Fig. 36). Considerando que ambas estaciones sólo poseen una profundidad de un metro, la absorción de la luz en la superficie inmediata es alta, debido probablemente a la densa cantidad de fitoplancton, bacterias o material suspendido en las capas superficiales del agua (Wetzel, 1975).

Por otro lado, las estaciones del Río Gurabo y el Lago Carraízo muestran un ejemplo típico de un decrecimiento significativo en la penetración de la luz en la columna de agua. En días soleados la penetración de la luz en el Río Gurabo a una profundidad de 4m es de 0.004% (Fig. 37); en días nublados ésta registra un leve aumento de 0.02% a la misma profundidad. Para el Lago Carraízo, el porcentaje de iluminación a la misma profundidad resulta mayor, mostrando un valor del 0.334% el cual

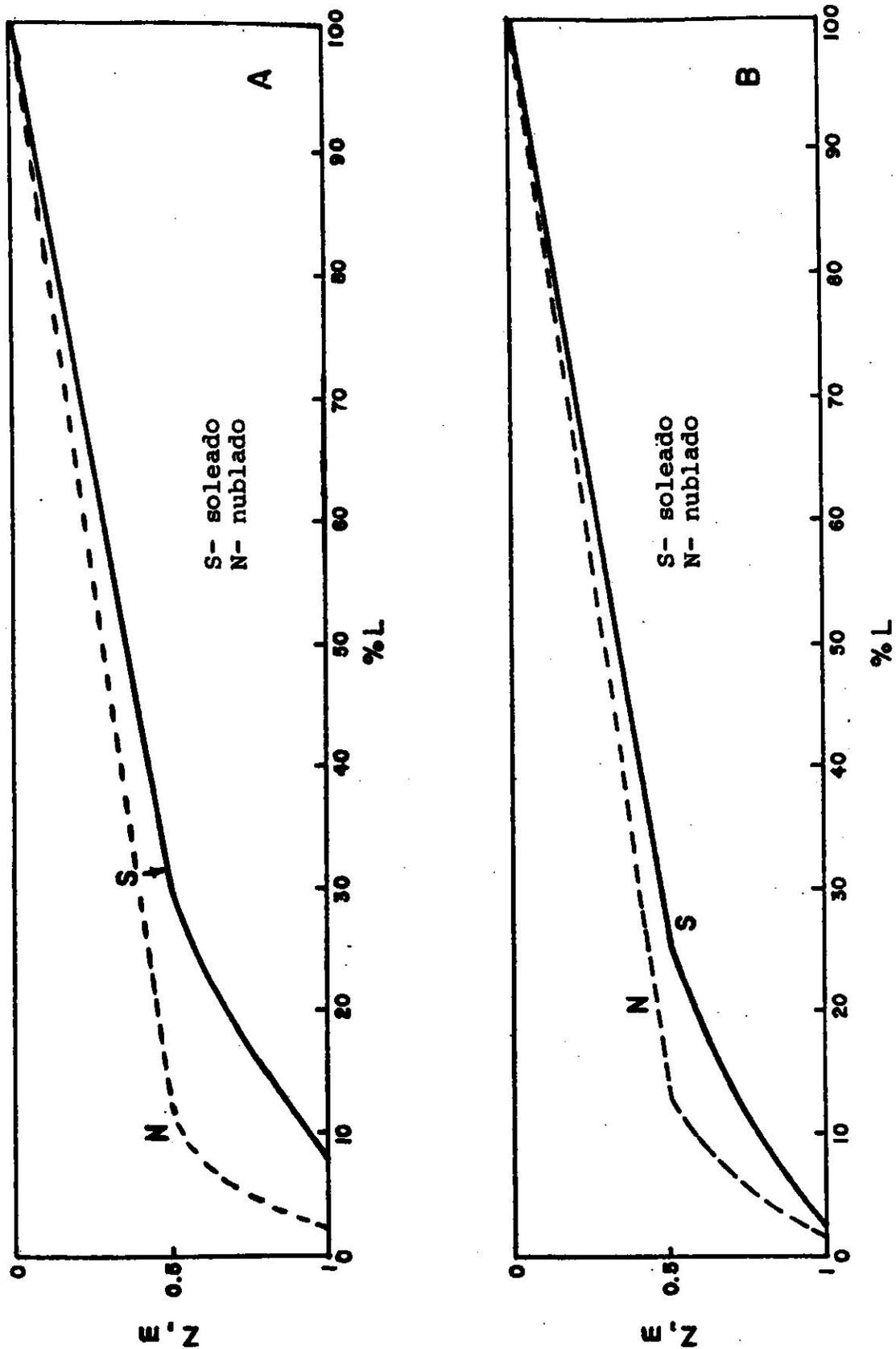


FIG. 36 PORCIENTO DE PENETRACION DE LUZ CONTRA PROFUNDIDAD (A) RIO CAGUITAS Y (B) RIO GRANDE DE LOIZA

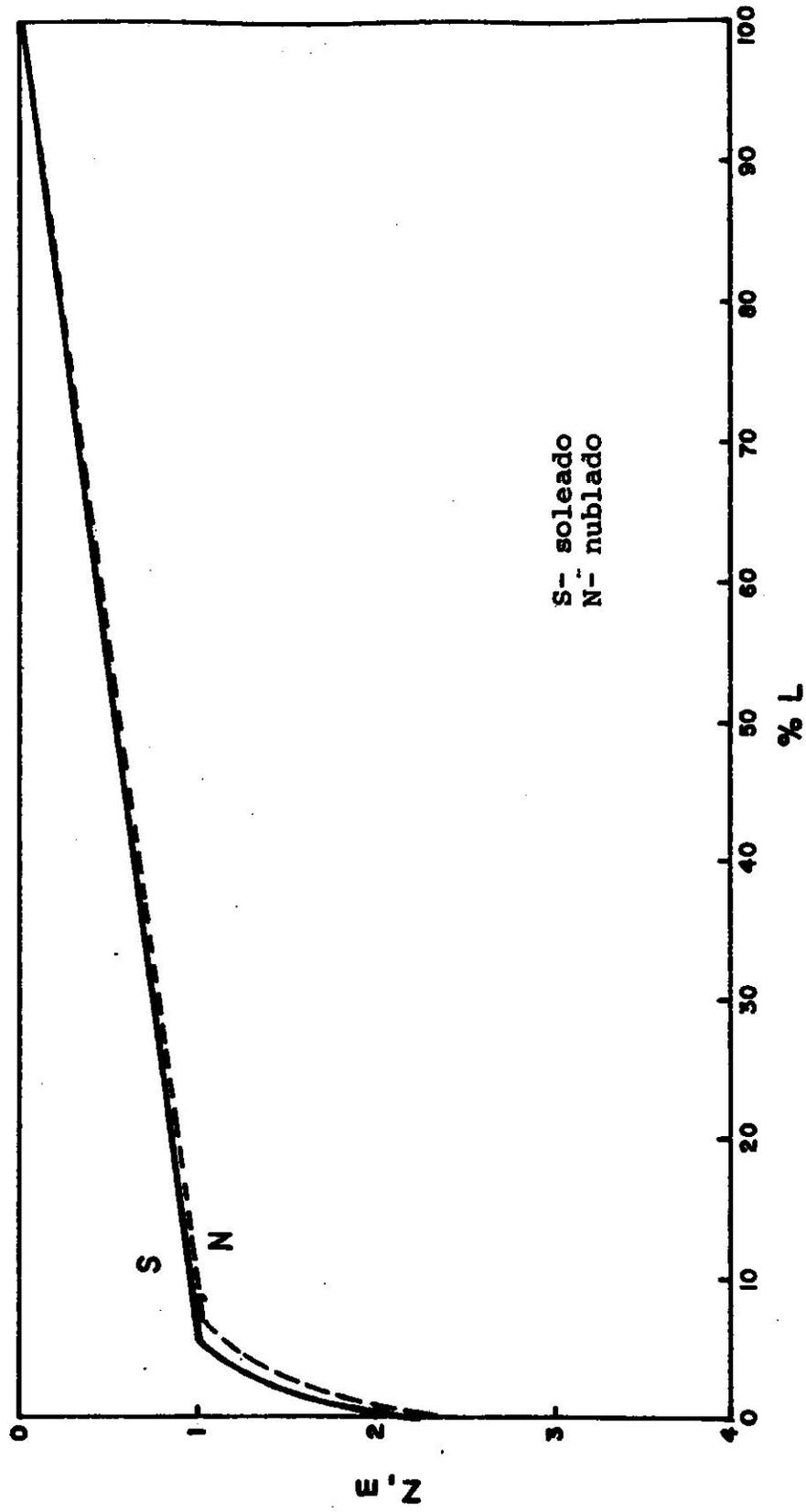


FIG.37 PORCIENTO DE PENETRACION DE LUZ CONTRA LA PROFUNDIDAD EN EL RIO GURABO

resulta un 66.56% menor que el reportado por Martínez (1979) para la misma profundidad de un 1%. Al igual que el Río Gurabo, en días nublados exhibe un pequeño incremento del 0.521% a los 4 m. (Fig. 38), el cual en ninguno de los dos casos resulta significativo.

Intimamente relacionado con el porcentaje de penetración de luz se encuentra la transparencia y el coeficiente de extinción (Fig. 39). La transparencia disminuyó a medida que se avanzaba río arriba en dirección a Caguas, mientras que el coeficiente de extinción aumentaba en la misma dirección (Tabla 16). El valor máximo de transparencia se registró en el Lago Carraízo con un valor promedio de 1.0 m. (± 0.22), seguido por el Río Gurabo (0.5737 ± 0.2136) en el Río Caguitas (0.4324 ± 0.0823 m.) y el Río Grande de Loíza (0.3014 ± 0.105 m.). Los valores expresados de transparencia por el plato Secchi concuerdan con los máximos de oxígeno disuelto del Río Gurabo y el Lago Carraízo, estaciones que muestran verdadera estratificación. Por el contrario, el coeficiente de extinción resultó máximo en el Río Grande de Loíza (3.760), seguido del Río Caguitas (2.770), el Río Gurabo (2.750) y el Lago Carraízo (1.435). La amplia diferencia mostrada entre las cuatro estaciones es notable, mas comparativamente hablando sólo se pueden comparar el Río Grande de Loíza con el Río Caguitas y el Río Gurabo con el Lago Carraízo, debido a la diferencia en profundidades. A grandes rasgos, las estaciones del Río Grande de Loíza y el Río Caguitas poseen probablemente concentración de fitoplancton en el primer caso y materia suspendida o particulada en el segundo caso, lo que absorbe una gran cantidad de la luz disponible, impidiendo

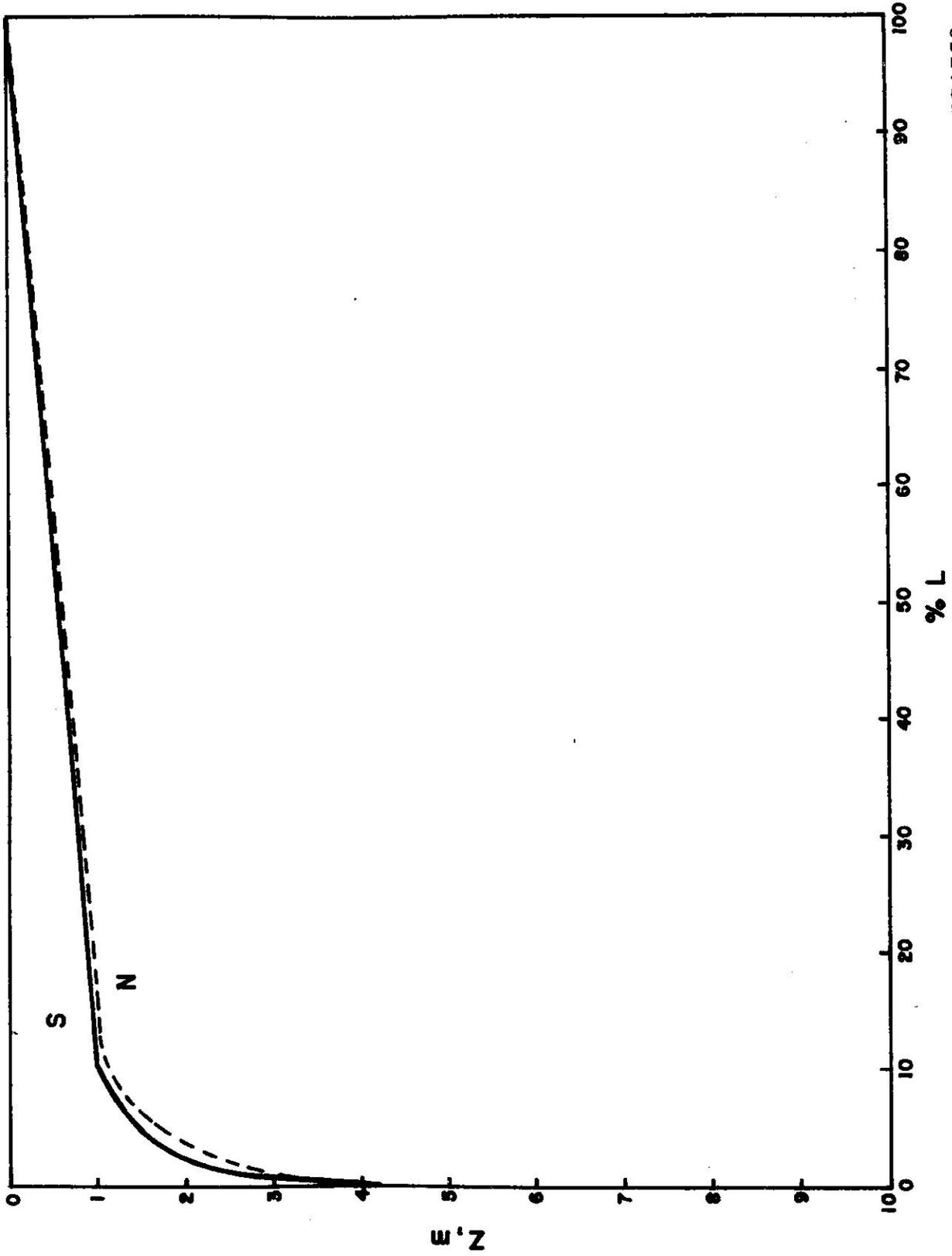


FIG. 38 PORCIENTO DE PENETRACION DE LUZ CONTRA PROFUNDIDAD EN EL LAGO CARRAIZO

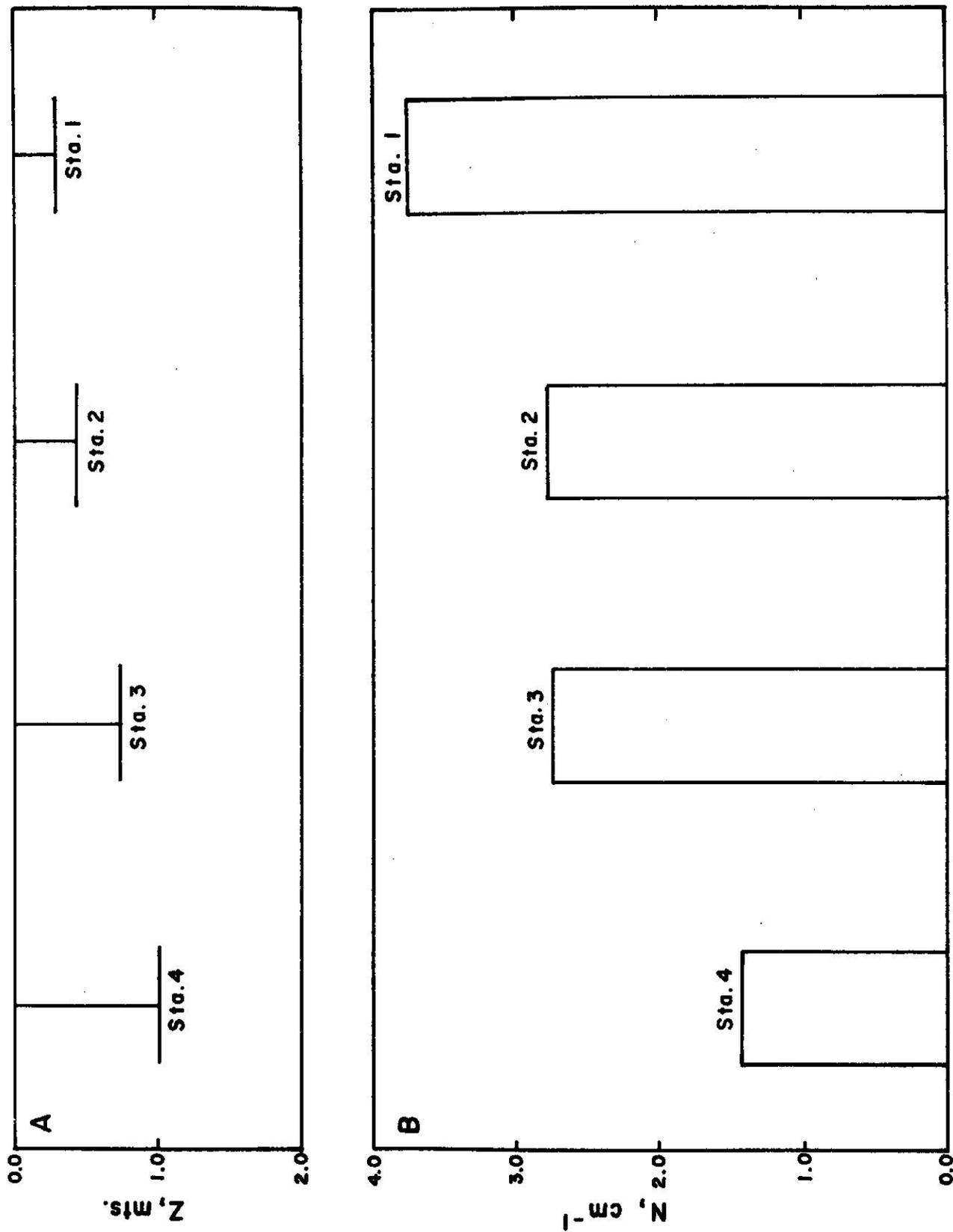


FIG. 39 (A) TRANSPARENCIA DE LAS CUATRO ESTACIONES
(B) COEFICIENTE DE EXTINCION

TABLA 16: VALORES PROMEDIO, MAXIMO, MINIMO Y DESVIACION ESTANDAR DE LA TRANSPARENCIA POR PLATO SECCHI Y VALORES DEL COEFICIENTE DE EXTINCCION PARA LOS TRIBUTARIOS PRINCIPALES Y EL LAGO CARRAIZO

ESTACION	PROM.	TRANSPARENCIA (m)		DE	COEFICIENTE DE EXTINCCION (η)
		MAX.	MIN.		
Río Grande de Loíza	0.3014	0.40	0.1524	0.1052	3.760 (1m)
Río Caguitas	0.4324	0.50	0.305	0.0823	2.770 (1m)
Río Gurabo	0.5737	0.90	0.305	0.2136	2.750 (3m)
Lago Carraízo	1.0266	1.25	0.66	0.2174	1.435 (4m)

que ésta se distribuya uniformemente en la columna de agua. Para el Río Gurabo y el Lago Carraízo predomina un patrón similar, mas éste se acentúa de una forma más evidente en el Río Gurabo, donde predomina un estrato o capa de material suspendido a una profundidad de 2m.

Por último, el valor observado en el Lago Carraízo (1.435) resulta ser un 20.8% más alto que el observado por Martínez (1979) de 1.188 a la misma profundidad (4m). Este hecho manifiesta la pérdida de la calidad del agua del embalse, producto del insumo de nutrientes en cantidades apreciables por parte de los tributarios al sistema. En base al coeficiente de extinción, todos los tributarios y el Lago Carraízo se encuentran eutroficados (Wetzel, 1975), dados los niveles de productividad allí presentes, reflejo de las descargas continuas e intermitentes de efluentes domésticos e industriales y el mal manejo de la cuenca.

HIDROLOGIA Y PROVISION DE NUTRIENTES:

Precipitación:

La precipitación en la cuenca hidrográfica del Río Grande de Loíza mostró una variación en la distribución de las lluvias a través de ésta (Fig. 40a). Este patrón de distribución se caracterizó por un aumento marcado en la precipitación durante el mes de septiembre, observándose la mayor precipitación en la represa (Trujillo Alto).

Durante el período de estudio (junio - octubre), un total de 703.07mm. fueron registrados en la represa, mientras que 727.2, 543.05 y 689.09mm. de lluvia fueron observados en la estación de Gurabo, Caguas y San Lorenzo, respectivamente. Esto indica una relativa variación en la distribución pluvial a través de la cuenca hidrográfica. Para la región del Lago Carraízo, se estimó que cayó un promedio de 715.13mm. en base a la media aritmética entre la lluvia registrada en la represa y en la estación de Gurabo, lo que contribuyó con un volumen de $1.728 \times 10^6 \text{ m}^3$ por concepto de precipitación directa sobre el Lago Carraízo.

Flujo y Provisión de Nutrientes:

El flujo en los tributarios principales del Lago Carraízo durante el período de estudio mostró un patrón relativamente uniforme de descarga, el cual está relacionado con la distribución de las lluvias en la cuenca (Fig. 40b). El Río Grande de Loíza resultó ser el tributario principal, descargando un total de $199.7 \times 10^8 \text{ m}^3$, seguido del Río Gurabo y el Río Caguitas, los que descargaron un volumen aproximado de $410.4 \times 10^7 \text{ m}^3$ y

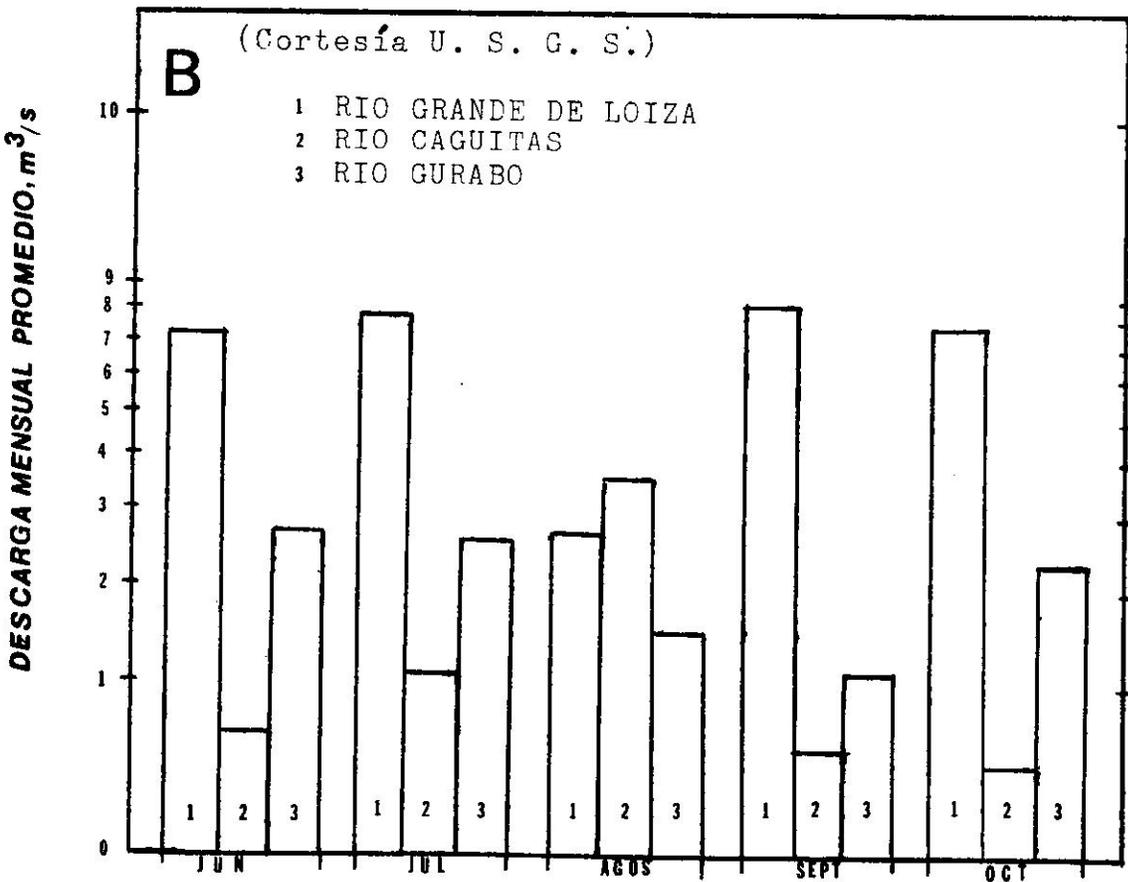
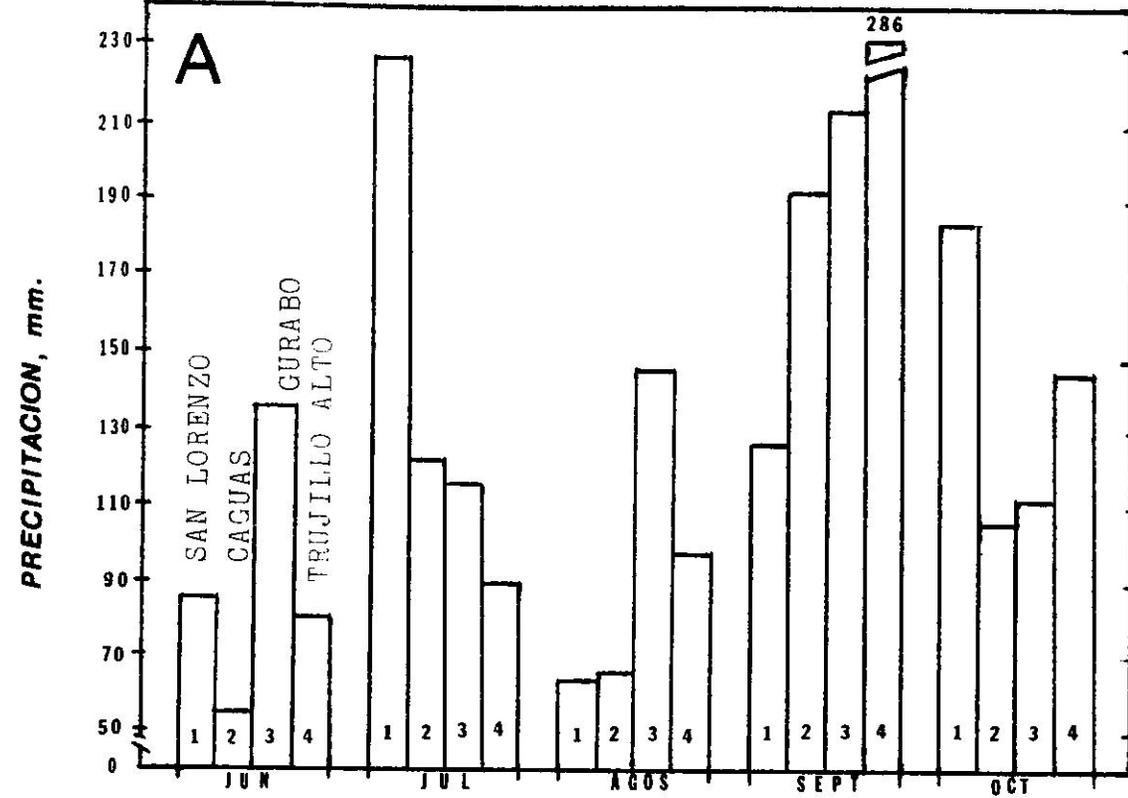


FIG. 39 HISTOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL EN ESTACIONES SELECTAS EN LA CUENCA DEL RIO GRANDE DE LOIZA (A)

DESCARGA PROMEDIO MENSUAL EN LOS TRIBUTARIOS DEL LAGO CARRAIZO (B)

$171.9 \times 10^7 \text{ m}^3$, respectivamente al Lago Carraízo.

La contribución del volumen de agua que aporta cada tributario al Lago Carraízo traerá consigo una cantidad determinada de nutrientes, los que contribuirán finalmente a la carga orgánica del sistema. Esta carga o provisión de nutrientes, puede ser determinada para los macronutrientes más importantes, nitrógeno y fósforo, para cada uno de los tributarios. Esta contribución se estimó en base al promedio mensual en la concentración de cada uno de los nutrientes y las descargas promedio de cada tributario. En base a esto, el Río Grande de Loíza contribuyó con 66.76 toneladas métricas de nitrógeno total y 105.76 toneladas métricas de fósforo total, mientras que el Río Caguitas aportó 71.69 tm. y 15.79 tm. de nitrógeno y fósforo total, respectivamente. Finalmente, el Río Gurabo contribuyó con 57.32 tm. y 24.38 tm. de nitrógeno y fósforo total respectivamente al Lago Carraízo.

Estos datos reflejan que el Río Grande de Loíza es el tributario que contribuye con una carga mayor de fósforo total, mientras que el Río Caguitas exhibe la mayor carga de nitrógeno total. En términos generales, 195.77 tm. de nitrógeno total y 143.94 tm. de fósforo total fueron exportados hacia el Lago Carraízo durante el período de estudio. La magnitud de estas provisiones hacia el Lago Carraízo muestra el estado detrimental de estos tributarios producto de la hipereutroficación. Aunque el período de estudio sólo abarcó cinco meses, esto nos ofrece una idea general del nivel trófico que ha alcanzado el Lago Carraízo.

En resumidas cuentas, todo el conjunto de parámetros químicos, bioquímicos y físicas que caracterizan tanto a los tributarios del Lago, como al Lago Carraízo, influirán significativamente en el crecimiento y desarrollo del jacinto de agua a lo largo de la cuenca hidrográfica del Río Grande de Loíza. Este desarrollo y crecimiento del jacinto de agua en lugares particulares reflejarán en su fisiología y contenido nutricional, la calidad del agua en que se establezcan. La caracterización del contenido nutricional del jacinto de agua en el embalse de Carraízo confirmará la condición trófica en que se encuentra dicho embalse y cuestionará la existencia de los tres biotipos de jacinto de agua.

III: CONTENIDO NUTRICIONAL DEL JACINTO DE AGUA

Relación peso seco-peso húmedo:

El contenido de humedad de los jacintos de agua en el Lago Carraízo parece estar de acuerdo a los valores reportados en la literatura por diferentes investigadores. En el Lago Carraízo, el porcentaje de humedad promedio en base a ocho (8) plantas, tres de ellas tomadas de la región del Lago Carraízo y cinco de ellas de la región del Río Grande de Loíza fue de 94.4 (93.0-95.8) por ciento. Este valor resulta comparable con los valores reportados por Penfound & Earle (1948) de 95% en Nueva Orleans; por Bock (1966) de 93.4% en California, por Boyd (1969), Yount & Crossman (1970) y Knipling *et al* (1970) de 94.1, 95.3 y 94.2% respectivamente en la Florida y por Villamil *et al* (1979) de 94.8% en Puerto Rico. Como complemento a esto, se encontró una estrecha relación entre el peso seco y el peso húmedo, el cual respondió a un patrón lineal (fig. 41). Este comportamiento es similar al determinado por Villamil *et al* (1979) en jacintos cosechados en una planta de tratamiento de aguas negras, lo que sugiere que el jacinto de agua mantiene constante la razón de peso seco a peso húmedo a través de su desarrollo. Por último, se encontró que por cada parte de sólido sintetizada, el jacinto incorpora 18.9 partes de agua en sus tejidos. Esto explicaría en gran parte el porqué el jacinto de agua, al presentarse en brotes masivos evapotranspire una

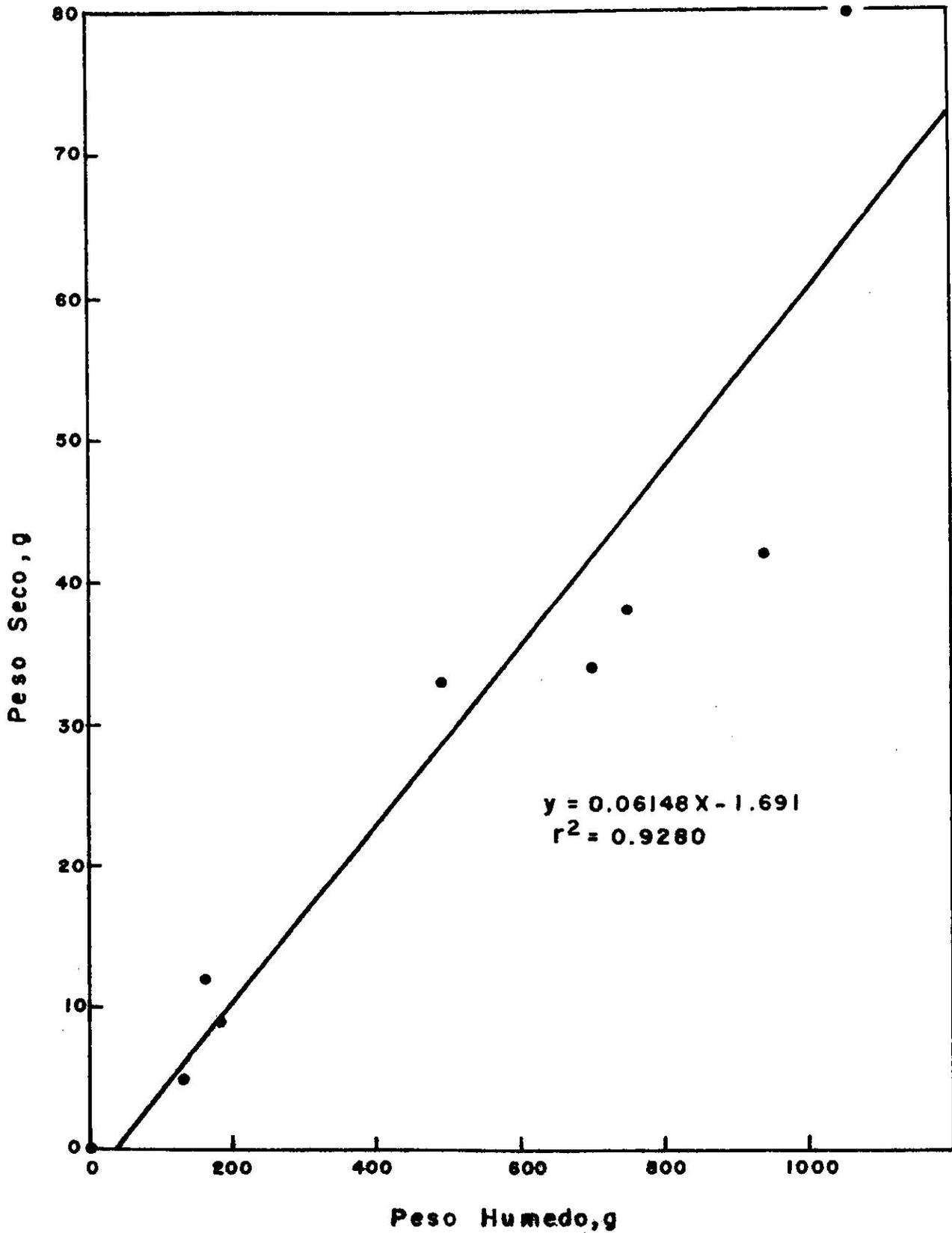


FIG.41 RELACION LINEAL DE PESO HUMEDO DE LOS JACINTOS DE AGUA CON EL PESO SECO

gran cantidad de agua. Vietmeyer (1975) menciona que esta particularidad hace que el jacinto posea una alta razón de evapotranspiración. Esta característica del jacinto de agua tiene graves consecuencias en los embalses de agua potable en donde podría evaporar hasta 3.7 veces más agua que en una superficie abierta (Timmer & Weldon, 1967). Esto es una razón para que se tomen medidas de manejo en la reserva del Lago Carraízo, para evitar una pérdida de agua a las capas de la atmósfera, en un momento en que existe una marcada demanda por el recurso agua y la capacidad del Lago Carraízo se reduce debido a la hipereutroficación. Es hora de que las autoridades concernientes tomen acción sobre el particular.

Composición Bruta:

Los resultados de la composición de los jacintos de agua de dos estaciones de muestreo en diferentes localidades del Lago Carraízo se expresan en la Tabla 17 y 18. El contenido de macronutrientes en los jacintos del Río Grande de Loíza y el Lago Carraízo resultaron variables entre sí (Figs. 42 y 43). El contenido de carbono varió de un 16.5 (16.12-16.88) por ciento en los jacintos del Río Grande de Loíza a un 21.69 (16.29-27.09) por ciento en el Lago Carraízo. Ambos valores resultaron inferiores al valor promedio reportado de 35% de carbono por Parra & Hortenstine (1974). Una característica particular de los jacintos del Río Grande de Loíza fue la concentración del contenido de carbono en las raíces (23.5%), contrario a los jacintos del Lago Carraízo, cuyo valor máximo se registró en el peciolo (43.27%). Esta diferencia fue

TABLA 17: COMPOSICION (EN PORCIENTO POR PESO SECO) DE LAS DIFERENTES SECCIONES MORFOLOGICAS DE DOS DIFERENTES LOCALIDADES, LAGO CARRAIZO, PUERTO RICO

LOCALIZACION	SECCION MORFOLOGICA	CARBONO ORGANICO (C)	NITROGENO TOTAL (N)	C/N	PROTEINA CRUDA	FOSFORO TOTAL	AZUFRE
Río Grande de Loíza	hoja	12.40(+3.20)	4.13(+0.15)	3.002	25.78(+0.98)	0.245(+0.12)	3.60(+0.24)
	pecíolo	11.15(+1.28)	1.89(+0.34)	5.90	11.58(+2.15)	0.186(+0.04)	2.17(+1.47)
	raíces	23.5 (+3.88)	0.99(+0.06)	23.73	6.19(+0.39)	0.065(+0.004)	1.64(+0.0003)
	homogenizado	16.5 (+0.38)	2.54(+0.3)	6.50	15.88(+1.84)	0.016(+0.0006)	2.89(+0.21)
Lago Carrizo	hoja	30.47(+10.47)	3.61(+0.10)	8.44	22.61(+0.64)	0.23 (+0.006)	2.37(+1.54)
	pecíolo	43.27(+13.22)	1.55(+0.09)	27.92	9.71(+0.57)	0.24 (+0.04)	1.45(+0.14)
	raíces	11.30(+4.70)	1.67(+0.10)	6.766	10.44(+0.67)	0.032(+0.03)	8.30(+0.57)
	homogenizado	21.69(+5.40)	2.13(+0.10)	10.16	13.34(+0.67)	0.22(+0.12)	3.68(+0.05)

TABLA 18: CONTENIDO DE CENIZAS (EN PORCIENTO POR PESO SECO) Y CONTENIDO CALORICO (KILOCALORIAS POR GRAMO POR PESO SECO, Kcal/g) DE LAS DIFERENTES SECCIONES MORFOLOGICAS DE DOS DIFERENTES LOCALIDADES, LAGO CARRAIZO, PUERTO RICO

LOCALIZACION	SECCION MORFOLOGICA	CENIZAS	CONTENIDO CALORICO
Río Grande de Loíza	hoja	21.82(±0.89)	3.484 (±0.06)
	peciolo	14.56(±0.20)	3.254 (±0.006)
	raíces	66.2 (±0.77)	0.3521(±0.035)
	homogenizado	35.4 (±0.27)	2.588 (±0.06)
Lago Carraízo	hoja	16.2 (±0.52)	3.594 (±0.12)
	peciolo	15.7 (±0.13)	3.180 (±0.04)
	raíces	32.5 (±0.46)	0.6818(±0.002)
	homogenizado	19.8 (±0.31)	3.139 (±0.016)

FIG. 42 COMPOSICION BRUTA DE LOS JACINTOS DE AGUA

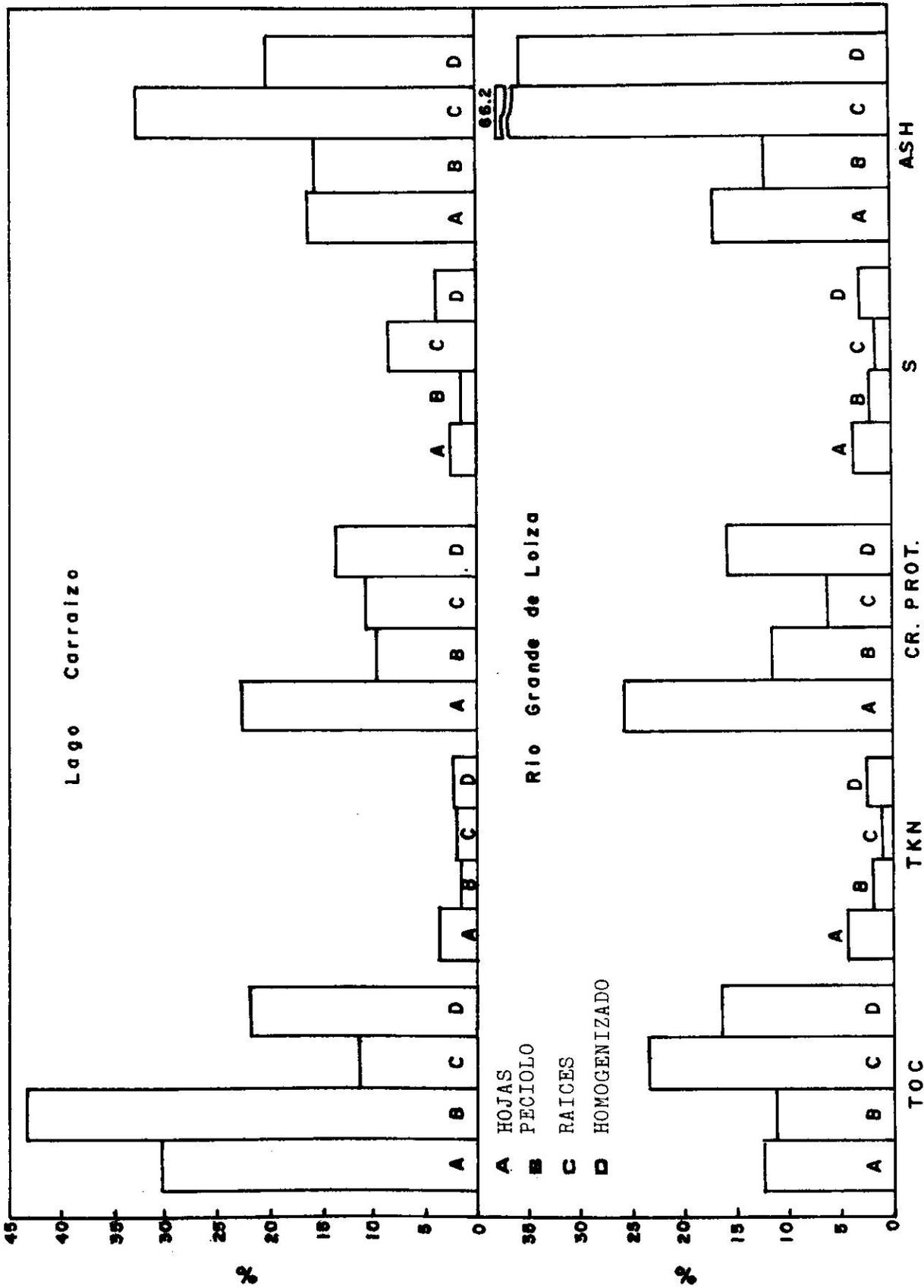
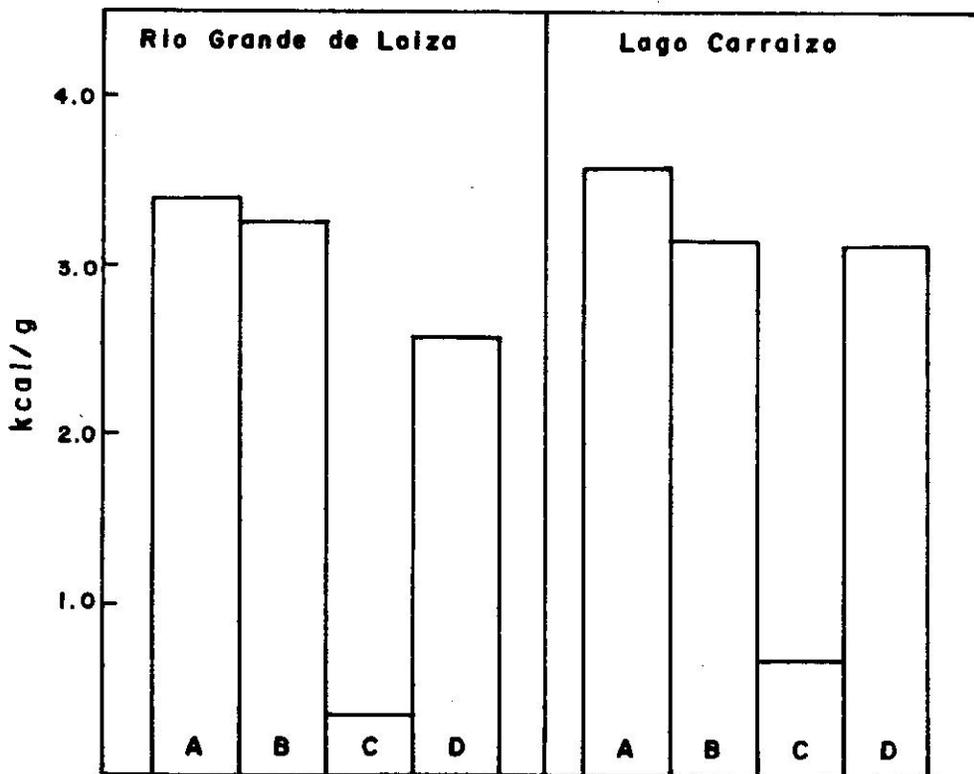
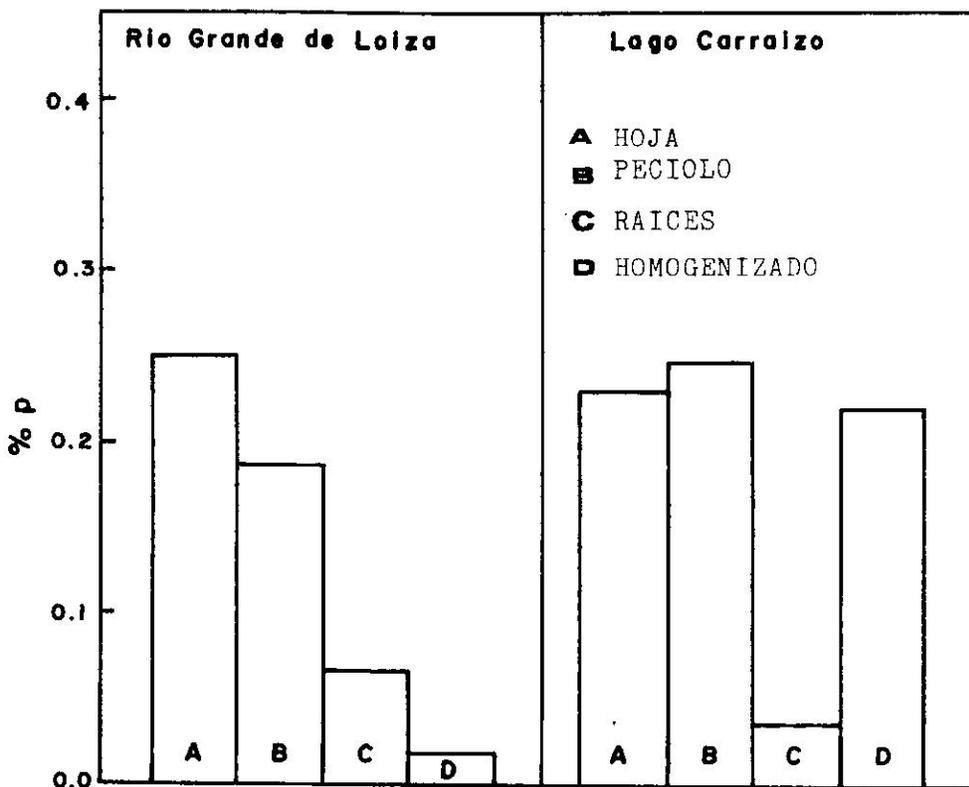


FIG. 43

HISTOGRAMA DEL % DE COMPOSICION DE FOSFORO Y CONTENIDO CALORICO DEL JACINTO DE AGUA DEL RIO GRANDE Y L. CARRAIZO



probablemente causada por estar las raíces en contacto con los sedimentos del fondo por ser el litoral de la estación de muestreo (<30.5 cm.) de escasa profundidad (Parra & Hortenstine, 1974). El contenido de nitrógeno total (TKN) no mostró cambios significativos entre localidades. Los jacintos de la región del Río Grande de Loíza mostraron el valor mayor con un promedio de 2.54 (2.24-2.84) por ciento mientras que los jacintos del Lago Carraízo mostraron un promedio de 2.134 (2.034-2.234) por ciento. Estos valores resultaron inferiores a los reportados por Yount & Crossman (1970) de 1.992%, Knipling *et al* (1970) de 1.75%, Parra & Hortenstein (1974) de 1.61% y el valor menor encontrado en una laguna de tratamiento de aguas negras por Wolverton & Mc Donald (1978b) de 1.56%. El valor calculado para la región del Río Grande de Loíza resultó comparable con el reportado por Boyd (1969) y Wolverton & Mc Donald (1978b) de 2.64 y 2.73% respectivamente e inferior al del Lago Carraízo. Por sección morfológica, se pudo apreciar una concentración del nitrógeno total para ambos casos en la hoja, con valores de 4.13 (3.98 - 4.28) por ciento para jacintos del Río Grande de Loíza y de 3.61 (3.51 - 3.71) por ciento para jacintos del Lago Carraízo. Este patrón de concentración del nitrógeno total en la hoja ha sido confirmado por los estudios previos de Knipling *et al* (1970) y Wolverton & Mc Donald (1978b). Por otro lado, la distribución del nitrógeno total en el peciolo y las raíces no resultó de igual manera entre los dos tipos de jacinto de agua. Los jacintos del Río Grande de

Loíza concentraron más nitrógeno en el peciolo ($1.89\% \pm 0.34$) que en las raíces ($0.99\% \pm 0.06$). Sin embargo, los jacintos del Lago Carraízo mostraron el patrón contrario, concentrando más nitrógeno en las raíces ($1.67\% \pm 0.10$) que en el peciolo ($1.55\% \pm 0.09$). Un patrón similar fue observado por Knipling *et al* (1970) y Wolverton & Mc Donald (1978b) sin aparente explicación. Aunque Boyd (1970), Knipling *et al* (1970) y Wolverton & Mc Donald (1978b) mencionan que existe una relación directa entre la carga de nutrientes disuelta en el agua y el contenido de éstos en el jacinto de agua, la distribución de éstos en los jacintos de agua ha resultado diferente entre los dos tipos de jacintos de agua. De especial interés cabe mencionar que la concentración del nitrógeno en las raíces podría estar determinada por la concentración del nitrógeno total en las aguas. Como se puede observar en la Tabla 19, el porcentaje de nitrógeno total en las raíces fue mayor en la estación de muestreo con menos concentración de TKN en la superficie del agua que la estación que exhibía mayor concentración de TKN. Aunque la distribución del nitrógeno dentro de la morfología del jacinto de agua pudiese responder a la concentración del TKN en la superficie del agua, cabe el aclarar que esta variación puede deberse a razones estrictamente fisiológicas. Boyd (1969) menciona que la composición de las plantas acuáticas cambia apreciablemente a medida que la planta envejece. Esta podría ser la verdadera razón de esta diferenciación, ya que si tomamos el tamaño de las plantas (como demostrado en la primera parte de esta investigación), la biomasa de las plantas tomadas de la región del Río Grande de

TABLA 19: CONCENTRACIONES DE NITROGENO TOTAL (TKN) PROMEDIO EN LA SUPERFICIE DEL AGUA RELACIONADAS AL % DE COMPOSICION DE NITROGENO DE LOS JACINTOS DE AGUA DEL RIO GRANDE DE LOIZA Y EL LAGO CARRAIZO

LOCALIZACION	TKN, mg/l	% NITROGENO RAICES	% NITROGENO PECIOLO
Río Grande de Loíza	0.4969	1.89	0.99
Lago Carraízo	1.244	1.67	1.55

Loíza en promedio fue de 159g(\pm 26.5), mientras que las plantas tomadas de la región del Lago Carraízo pesaron aproximadamente 709g(\pm 224.9). En términos de tamaño de las plantas, los jacintos de agua utilizados en estos análisis fueron pequeños (10.0cm.) para la región del Río Grande de Loíza y super gigante (92.0cm.) para la región del Lago Carraízo. Todas las muestras utilizadas en el estudio se tomaron del mismo brote de aproximadamente la misma edad (pequeño, Río Grande de Loíza; super gigante, Lago Carraízo), así que las variaciones se le deben de atribuir a las diferencias ambientales o fisiológicas. Este detalle representa una laguna dentro de la fisiología del jacinto de agua, lo que debería de ser considerado en futuras investigaciones.

La razón de carbono a nitrógeno (C:N) resultó mayor en los jacintos de la región del Lago Carraízo que los jacintos de la región del Río Grande de Loíza. En promedio, la razón C:N para los jacintos pequeños resultó ser de 6.50:1 comparada con la razón determinada para el jacinto de agua super gigante de 10.16:1. Estas razones resultan inferiores a las razones reportadas por Parra & Hortenstine (1974) de 23.3:1. Aunque la razón determinada en esta investigación (10.16:1)

no sea la recomendada por Wolverton & Mc Donald (1975a) de 30:1 para la producción máxima de metano, podría afirmarse que de los dos tamaños escogidos, el super jacinto de la región del Lago Carraízo sería el más apropiado para la producción de biogás. Es en el super jacinto en donde se obtiene la mayor de las razones entre C:N obtenidas por sección morfológica, ya que el peciolo demostró estar cerca de la razón óptima de producción de biogás (27.92:1). En el caso de los jacintos pequeños, las raíces (23.5:1) es la única parte de la sección morfológica que pudiese acercarse a la razón C:N óptima de 30:1. Ya que esta sección morfológica constituye una pequeña porción de los jacintos pequeños, no resultaría desde el punto de vista práctico su utilización para la producción de biogás.

El contenido de proteína cruda resultó máximo en la región del Río Grande de Loíza, con un valor promedio de 15.88 (14.04-17.72) por ciento, mientras que en la región del Lago Carraízo sólo se obtuvo un valor del 13.34 (12.7-13.98) por ciento. El contenido de proteína cruda de la región del Río Grande de Loíza resulta comparable con el valor hallado por Boyd (1969) de 16.5% en jacintos de la Florida del Sur y el reportado por Wolverton & Mc Donald (1978b) de 17.1% en jacintos cosechados en una laguna de tratamiento de aguas domésticas en Mississippi. Similar al caso del porcentaje del nitrógeno, el contenido de proteína cruda en las plantas pudiese estar ligado a la carga orgánica de las aguas en donde los jacintos crezcan. Una inspección de la Tabla 20 podrá comprobar la relación que existe entre el % de nitrógeno total y el % de proteína cruda.

TABLA 20: CONCENTRACIONES DE NITROGENO TOTAL (TKN) PROMEDIO EN LA SUPERFICIE DEL AGUA RELACIONADAS AL % DE COMPOSICION DE PROTEINA CRUDA EN LOS JACINTOS DE AGUA DEL RIO GRANDE DE LOIZA Y DEL LAGO CARRAIZO

LOCALIZACION	TKN, mg/l	% PROTEINA CRUDA
Río Grande de Loíza	0.4969	15.88
Lago Carraízo	1.244	13.34

Wolverton & Mc Donald (1978b), observaron una relación directa entre la carga orgánica y los jacintos cosechados en plantas y lagunas de tratamiento de aguas domésticas; sin embargo, Boyd (1970) hace incapié en que el contenido de proteína en los jacintos de agua disminuye con la edad y que éste es extremadamente variable entre las plantas de diferentes localidades, reflejando el contenido de los nutrientes presentes en las aguas donde crecen. Los resultados de esta investigación confirman esos descubrimientos. Morfológicamente hablando, el porcentaje mayor de proteína cruda se concentró en la hoja para ambas regiones, con un valor promedio de 25.78 (24.8-26.76) por ciento para las plantas de la región del Río Grande de Loíza y de 22.61 (21.97-23.25) por ciento para los jacintos de la región del Lago Carraízo. Esta particularidad fue observada por Wolverton & Mc Donald (1978b) en jacintos cosechados en plantas de tratamiento de aguas negras en Mississippi. Al igual que en el contenido de nitrógeno, la distribución del contenido de proteína cruda entre el peciolo y las raíces es similar. Para los jacintos del Río Grande de Loíza, el peciolo le sigue en porcentaje de proteína cruda con 11.58 (9.43-13.73) por ciento y luego las raíces, con un 6.19

(5.8-6.58) por ciento. Lo contrario ocurre en las plantas de la región del Lago Carraízo, a las hojas le siguen en magnitud el peciolo y luego las raíces con 9.71 (9.14-10.28) por ciento y 10.44 (9.77 - 11.11) por ciento respectivamente. La posible explicación a esta diferencia en el contenido de proteína cruda está estrechamente relacionada con la distribución del contenido de nitrógeno. Esta condición pudiese estar relacionada a las previamente discutidas en la distribución morfológica del porcentaje de nitrógeno.

El contenido de fósforo en los jacintos de agua resultó mayor en la región del Lago Carraízo que en la región del Río Grande de Loíza. El valor promedio para el porcentaje de fósforo total en el Lago Carraízo promedio fue de 0.22 (0.1 - 0.34) por ciento, mientras que para el Río Grande de Loíza resultó en un mínimo de 0.016 (0.0154 - 0.0166) por ciento. Esta marcada diferencia en el contenido de fósforo total puede atribuirse a la diferencia en biomasa de los jacintos de agua de la región del Río Grande de Loíza comparados con las plantas escogidas del Lago Carraízo para análisis nutricional. Sin embargo, al ser comparados con valores reportados previamente resultan significativamente inferiores. Boyd (1969) reportó un valor de 0.43% en plantas de Florida del Sur; tanto Yount & Crossman (1970), Knipling *et al* (1970) como Parra & Hortenstine (1974) determinaron valores porcentaje de fósforo de 0.6707, 0.63, 0.29 y 0.31% respectivamente para jacintos de agua en la Florida y, por último, Wolverton & Mc Donald (1978b) estimaron valores entre 0.89 y 0.31%, respectivamente para plantas y lagunas de tratamiento de aguas domésticas en Mississippi. Por otro lado, la distribución

del contenido de fósforo en los tejidos del jacinto de agua en las dos regiones se limitó en su gran mayoría a concentrarse en las hojas y el peciolo. Del total del porcentaje de fósforo total para las tres secciones morfológicas del jacinto (hojas, peciolo, raíces) aproximadamente el 90.3% (+4.7) del fósforo total se encuentra entre las hojas y el peciolo. Este porcentaje es superior al reportado por Wolverton & Mc Donald (1978b) en los jacintos de agua cosechados en las cuatro plantas de tratamiento en Mississippi, cuya concentración en las hojas y el peciolo del fósforo total fue del 66% en promedio. Aunque los jacintos del Lago Carraízo demostraron poseer un mayor porcentaje del fósforo total por planta, las hojas de las plantas de la región del Río Grande de Loíza mostraron poseer un valor ligeramente más alto que el contenido de fósforo en las hojas del Lago Carraízo. En promedio, las hojas de los jacintos de agua de la región del Río Grande de Loíza se les determinó un porcentaje de 0.245 (0.125-0.365) por ciento, mientras que las hojas correspondientes de las plantas del Lago Carraízo exhibieron un valor promedio de 0.23 (0.224-0.236) por ciento. Esto podría deberse en parte a la alta razón de remoción de nutrientes de las plantas jóvenes (Villamil *et al.*, 1979). Por el contrario, las plantas de la región del Lago Carraízo demostraron poseer un mayor contenido de fósforo en el peciolo que las plantas de la región del Río Grande de Loíza, con valores de 0.24 (0.236-0.244) por ciento y 0.186 (0.146-0.226) por ciento respectivamente. En adición a esto, los jacintos que crecieron bajo una concentración más alta de fósforo (Lago Carraízo), la

distribución del contenido del fósforo fue más a la par entre la hoja y el peciolo que los jacintos del Río Grande de Loíza. Una revisión a la Tabla 21 demostrará la relación entre concentración del fósforo total en el agua y la distribución del porcentaje en los jacintos de ambas regiones. Esta particularidad fue observada por Wolverton & Mc Donald (1978b) en los jacintos cultivados en las plantas de tratamiento de Mississippi.

TABLA 21: CONCENTRACIONES DE FOSFORO TOTAL (TP) PROMEDIO EN LA SUPERFICIE DEL AGUA RELACIONADAS AL PORCENTAJE (%) DE COMPOSICION DE FOSFORO TOTAL POR SECCION MORFOLOGICA DE LOS JACINTOS DE AGUA DEL RIO GRANDE DE LOIZA Y EL LAGO CARRAIZO

LOCALIZACION	TP, mg/l	% FOSFORO HOJAS	% FOSFORO PECIOLLO	% FOSFORO RAICES
Río Grande de Loíza	0.5389	0.245	0.186	0.065
Lago Carraízo	1.0833	0.230	0.240	0.032

La marcada diferencia en la distribución del porcentaje de fósforo entre los dos tamaños de jacinto, a la par con la diferencia en concentraciones promedio de fósforo total de donde estaban creciendo las plantas, demuestran que el jacinto de agua es capaz de remover nutrientes en exceso, y más específicamente, fósforo. Dicho de otro modo, los jacintos de agua expuestos a una mayor concentración de nutrientes absorberán más del nutriente de lo que puedan utilizar. (Knipling *et al*, 1970; Haller *et al*, 1970; Wolverton & Mc Donald, 1978b). Haller & Sutton (1973) determinaron que los jacintos de agua pueden

absorber hasta cuatro veces más fósforo que otros tipos de plantas, lo que demuestra la eficiencia que el jacinto de agua posee en la remoción de nutrientes. Por lo tanto, la concentración de fósforo en los jacintos de agua en la región del Lago Carraízo en la hoja y el peciolo reflejan, similar al caso del porcentaje de nitrógeno y proteína cruda, que el jacinto de agua responde a las condiciones ambientales a las que se enfrenta. Por último, la habilidad de los jacintos de agua para remover e incorporar nutrientes en sus tejidos favorecen su utilización para la remoción de nutrientes de las aguas por medio del cosecho. En base a la productividad promedio del jacinto de agua para el Lago Carraízo (175.3 kg/ha/d, peso húmedo) y los porcentajes de nitrógeno y fósforo respectivamente para los jacintos del Lago Carraízo (2.134; 0.22), se puede estimar que el cosecho de una hectárea de jacintos de agua en el Lago Carraízo podrían remover aproximadamente 3.741 y 0.3857 kgs. de nitrógeno y fósforo respectivamente por día. Esta razón de remoción compara favorablemente con los resultados de Boyd (1976) de 3.4 y 0.43 kg/ha/d de nitrógeno y fósforo respectivamente de jacintos cosechados en Alabama. Queda una vez más demostrado la capacidad de esta planta para remover nutrientes sin necesidad de sistemas complejos de ingeniería.

El porcentaje mayor de azufre recayó para las plantas de la región del Lago Carraízo, con un promedio del 3.68 (3.63-3.73) por ciento, mientras que las plantas de la región del Río Grande de Loíza registraron un valor promedio del 2.89 (2.68-

3.1) porciento. Ambos valores resultaron muy por encima al valor reportado por Boyd (1969) del 0.33% en jacintos de la Florida del Sur. Como demostrado anteriormente, la concentración de los macronutrientes en las plantas reflejará proporcionalmente la concentración de éstos en el agua, lo que sugiere la presencia de concentraciones considerables de azufre disuelto en las aguas, en su mayoría en forma de sulfatos (SO_4^{-2}) (Wetzel, 1975). Esta situación es típica en cuerpos de agua eutróficos. Morfológicamente hablando, las hojas de la región del Río Grande de Loíza registraron un valor promedio mayor en el porcentaje de azufre ($3.6\% \pm 0.24$) que las hojas de la región del Lago Carraízo ($2.37\% \pm 1.54$). Contrario a este hecho, las raíces del Lago Carraízo mostraron un valor muy superior ($8.3\% \pm 0.57$) a las raíces de las plantas del Río Grande de Loíza ($1.64\% \pm 0.0003$). Para el primer caso, la concentración del porcentaje del azufre en las hojas podría deberse al metabolismo activo de las plantas jóvenes. Sin embargo, en el segundo caso, la drástica diferencia en el porcentaje de azufre en las raíces de los jacintos del Lago Carraízo podría atribuírsele a una considerable concentración de hidrógeno sulfuroso (H_2S) en la sección anóxica del hipolimneo (Wetzel, 1975). Wolverton & Mc Donald (1978b) registraron la misma distribución en los jacintos cosechados en la planta de tratamiento de Lucedale, Mississippi, sin aparente discusión ni relación con la concentración del afluyente de las plantas. Aunque las plantas de la región del Lago Carraízo mostro por planta un porcentaje mayor, no hay que descartar también la posibilidad de que esta particularidad sea

un aspecto fisiológico relacionado con la edad de las plantas (Boyd, 1970). Este aspecto representa un eslabón más que queda por esclarecer dentro de la fisiología del jacinto de agua.

Los valores del contenido calórico por planta promedio demostraron ser de 3.139 (3.123 - 3.155) kcal/g en la región del Río Grande de Loíza. Ambos valores resultaron inferiores al valor reportado por Boyd (1969) de 3.8 kcal/g en jacintos de Florida del Sur. Existe la posibilidad de que los valores del contenido calórico estén sujetos a la disponibilidad de nutrientes y muy en especial a la edad de la planta, lo que pudiese contribuir a la diferencia significativa entre los jacintos de agua de las dos localidades. Seccionalmente hablando, la distribución del contenido calórico fue similar en las dos regiones. En ambos casos, la hoja y el peciolo representaron el 92.92% (± 2.93) del total del contenido calórico de las tres secciones (hoja, peciolo, raíces) juntas. Además, la diferencia entre contenido calórico en promedio no resultó ser significativa entre las hojas y peciolos de las dos regiones. En promedio, la hoja y el peciolo de la región del Río Grande de Loíza mostraron valores de 3.484 (3.424 - 3.544) kcal/g y 3.254 (3.248-3.26) kcal/g respectivamente mientras que para la hoja y el peciolo de las plantas del Lago Carraízo, en el caso de la primera, ésta reflejó un valor ligeramente más alto, correspondiente a 3.594 (3.474-3.714) kcal/g y ligeramente bajo para el caso del peciolo, con valor de

3.18 (3.14-3.22) kcal/g respectivamente. Para ambos casos, el contenido calórico de las raíces fue mínimo, con un promedio de 0.3521 (0.3171-0.3871) kcal/g para la región del Río Grande de Loíza, mientras que para las plantas de la región del Lago Carraízo el valor del contenido calórico resultó ser un 51.7% mayor, con un valor promedio de 0.6818 (0.6798-0.6838) kcal/g. Sin embargo, la baja en el contenido calórico está inversamente asociada con el aumento en el contenido de cenizas (Boyd, 1968). Este aspecto resulta de vital relevancia en el caso del contenido calórico de las raíces, ya que éste bajó apreciablemente con un aumento en el contenido de cenizas. A esto se debe el bajo contenido calórico de las raíces de las plantas de la región del Río Grande de Loíza, ya que éstas registraron un contenido de cenizas promedio de 66.2 (65.43-66.97) por ciento. Parra & Hortenstine (1974) atribuye el alto contenido de los jacintos en su estudio a la cercanía de las raíces con los sedimentos del fondo, lo que en términos del contenido de cenizas de la planta, ejercerá una baja significativa en el contenido calórico. En el caso de las plantas de la región del Río Grande de Loíza, el contenido de cenizas promedio por planta fue de 35.4 (35.13-35.67) por ciento comparado con el valor de las plantas del Lago Carraízo, que reflejaron un valor promedio de 19.8 (19.49-20.11) por ciento una diferencia del 56%. Este último valor (Lago Carraízo) resulta ligeramente superior al reportado por Boyd (1969) de 18.11% de contenido de cenizas en jacinto de agua en Florida del Sur. Si bien es verdad que el contacto de las raíces incrementa el contenido

de cenizas a las raíces y, por lo tanto, a la planta, este incremento puede estar asociado con el contenido de fósforo, azufre y otros componentes inorgánicos como el calcio (Ca), magnesio (Mg) y el potasio (K) (Boyd, 1969). Aunque en este caso en particular, el contenido de fósforo y azufre en las raíces no resultaran con los valores más altos, la contradicción podría atribuírsele a las cantidades apreciables de limo que se hayan quedado en las raíces aún después de lavadas. Boyd (1969) considera que ese limo representa una fracción inorgánica de las plantas desde el punto de vista práctico, lo que pudiese explicar las diferencias entre el contenido de cenizas de ambas plantas.

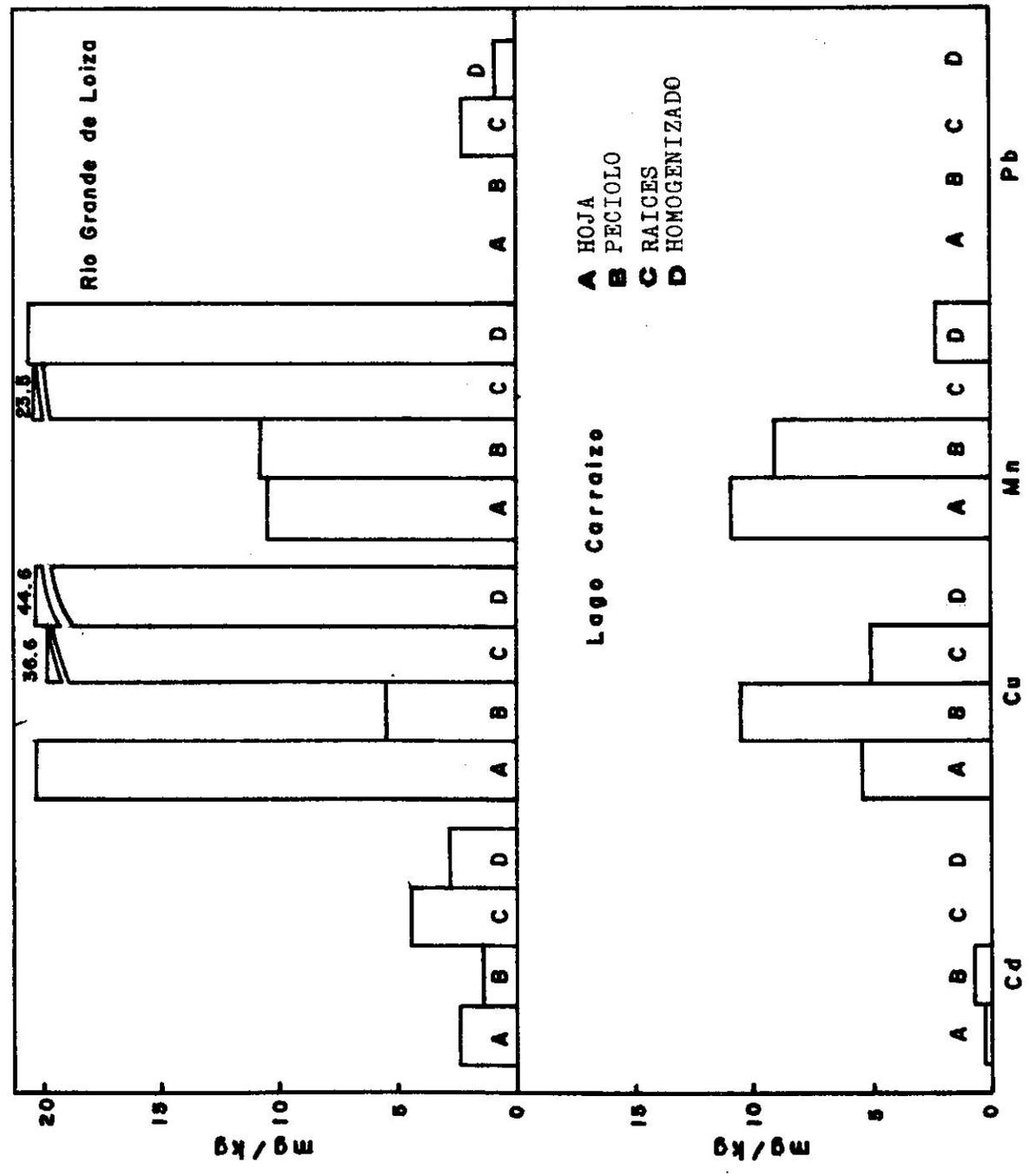
Bioacumulación de Metales (Cd, Cu, Mn, Pb):

Los resultados de la bioacumulación de los metales Cd, Cu, Mn y Pb se resumen en la Tabla 22. A primera vista, los jacintos de la región del Río Grande de Loíza concentraron los cuatro metales en las raíces, mientras que las plantas del Lago Carraízo no mostraron un patrón uniforme de concentración (Fig. 44). Para el caso del Cd en específico, las plantas de la región del Lago Carraízo concentró niveles apreciables de Cd en las raíces, patrón observado en las plantas del Río Grande de Loíza. Esta tendencia a concentrar el Cd en las raíces ha sido observada previamente por Wolverton & Mc Donald (1978a) en pruebas de laboratorio. En el caso del Cu y el Mn, los jacintos de la región del Lago Carraízo no responden al patrón normal de concentración de los metales

TABLA 22: CONCENTRACION DE CUATRO METALES (EN mg/kg POR PESO SECO) DE LOS JACINTOS DE AGUA DE DOS DIFERENTES AMBIENTES, LAGO CARRAIZO

LOCALIZACION	SECCION MORFOLOGICA	Cd	Cu	Mn	Pb
Río Grande de Loíza	hoja	2.30(±0.8)	20.19(±0.5)	10.44(±0.32)	<0.1
	peciolo	1.43(±0.4)	5.543(±0.04)	11.18(±1.5)	<0.1
	raíz	4.39(±0.4)	36.66(±0.9)	23.33(±0.54)	2.034(±0.5)
	homogenizado	2.86(±1.0)	44.62(±1.04)	20.53(±1.5)	0.8694(±0.2)
Lago Carraizo	hoja	0.194(±0.2)	5.393(±0.44)	10.89(±0.7)	<0.1
	peciolo	<0.1	10.57(±0.76)	9.20(±1.0)	<0.1
	raíz	0.55(±0.4)	4.924(±0.5)	<0.1	<0.1
	homogenizado	<0.1	<0.1	2.28(±0.4)	<0.1

FIG.44 BIOACUMULACION DE METALES PESADOS EN LOS JACINTOS DE AGUA R. GRANDE Y L. CARRAIZO



en las raíces reportado por Cooley *et al* (1979) para super jacintos de la Florida del Sur. Estos jacintos demostraron concentrar más Cu en el peciolo de la planta, mientras que el Mn se concentró mayormente entre la hoja y el peciolo. En el caso del Pb, no se pudieron detectar concentraciones apreciables de Pb en los tejidos de las plantas de la región del Lago Carraízo como para poder describir un patrón de distribución del elemento. Contrario a la irregularidad en el patrón de concentración de los elementos en estas plantas, los jacintos de la región del Río Grande de Lofza están de acuerdo al patrón reportado por Wolverton & Mc Donald (1978a) para el caso del Cd y por Cooley *et al* (1979) para el caso de Cd y Mn respectivamente en plantas pequeñas. Para el caso del Pb, el presente hallazgo es nuevo en la literatura, lo que llevaría a suponer que este elemento siga el mismo patrón de distribución de los metales señalados con anterioridad. Por otro lado, la concentración de Mn por planta resultó completamente inferior a los resultados reportados por distintos autores en la literatura. Lawrence (según Cooley *et al*, 1979) encontró concentraciones de 680 mg/kg (peso seco), mientras que Boyd (1970), Boyd & Vickers (según Cooley *et al*, 1979) y Easley & Shirley (según Cooley *et al*, 1979) determinaron concentraciones de Mn de 3940, 270 y 142 mg/kg respectivamente. Sin embargo, Cooley *et al* (1979) reporta un valor de 2.4 mg/kg para los super jacintos mientras que para los pequeños calculan un contenido de 597 mg/kg. Todos los valores antes descritos resultan inferiores para el Mn por parte de las

plantas del Río Grande de Loíza (20.55), mas resulta comparable con el valor de los jacintos de la región del Lago Carraízo (2.28). En el caso del Cu para las plantas de la región del Río Grande de Loíza, el valor determinado en esta investigación (44.62 mg/kg) resultó inferior a la reportada por Lawrence (según Cooley *et al.*, 1979) de 90 mg/kg, pero sí superior a las reportadas por Boyd (1970), Boyd & Vickers (según Cooley *et al.*, 1979), Easley & Shirley (según Cooley *et al.*, 1979) de 11, 15 y 12 mg/kg respectivamente. Además, el contenido de Cu por planta determinado por Cooley *et al.* (1979) resultó muy inferior al del presente estudio, con un valor mínimo de 0.45 mg/kg. Las plantas de la región del Lago Carraízo no se tomaron en consideración por éstas no reflejar una concentración apreciable por planta.

Las razones de absorción y distribución de los metales en las distintas secciones morfológicas dependerá simultáneamente de los factores ambientales a los cuales la planta se enfrenta en su lugar de crecimiento. Cooley & Martin (1977) afirman que dentro de todos los factores ambientales que gobiernen la distribución de los metales en los jacintos, la solubilidad de éstos resulta en un parámetro capaz de gobernar tal distribución. También mencionan que la solubilidad de los metales puede estar limitada por los carbonatos y fosfatos presentes en solución. Este hecho podría explicar la irregularidad exhibida en la distribución y la pobre concentración por planta de los jacintos de agua de la región del Lago Carraízo, ya que esta región demostró un valor promedio de fósforo total (TP)

de 1.0833 mg/l. Contrario a esta condición, la concentración de TP en la región del Río Grande de Loíza resultó de 0.5389 mg/l. Si bien esta relación puede ser significativa, tampoco se puede dejar de descartar la probabilidad de la concentración de los iones en la columna de agua. A tales efectos, se utilizó la ecuación de Concentración Aparente (CA) desarrollada por Cooley *et al* (1979), que relaciona la concentración del metal en la planta con la concentración en la columna de agua. Esta ecuación está definida por:

$$\text{Concentración aparente} = \frac{\text{mg elemento/kg por peso seco}}{\text{mg elemento/litro en el agua}}$$

Los datos y resultados de este factor se resumen en la Tabla 23. La escasez de los datos concernientes al contenido de metales por planta en los jacintos de agua de la región del Lago Carraízo para tres metales (Cd, Cu, Pb) limitan el campo de acción de la CA. Sin embargo, la diferencia en la CA para Mn en las dos regiones podría sugerir, aunque no de manera firme, que el contenido de metales en las plantas pueda responder, además de la solubilidad y el efecto de los carbonatos y fosfatos sobre ella, a la concentración del ion metálico en la columna de agua. Más investigación con respecto a esta laguna en otro aspecto de la fisiología del jacinto de agua se necesita para llegar a comprender a cabalidad esta discusión.

TABLA 23: FACTORES DE CONCENTRACION APARENTE (CA) RELACIONADOS A LAS CONCENTRACIONES DE METALES EN LA COLUMNA DE AGUA Y LAS PLANTAS DE LAS DOS REGIONES DE MUESTREO (EN mg/l Y mg/kg RESPECTIVAMENTE)

AGUA	ELEMENTOS					
	LOCALIZACION	{Cd}	{Cu}	{Mn}	{Pb}	
Río Grande de Loíza		2.888	10.58	72.30	<1.0	
Lago Carraízo		0.665	6.780	15.54	<1.0	
Plantas		{Cd}	{Cu}	{Mn}	{Pb}	
Río Grande de Loíza		2.86	44.62	20.53	0.869	
Lago Carraízo		<0.1	<0.1	2.280	<0.1	
Concentración Aparente		Cd	Cu	Mn	Pb	
Río Grande de Loíza		0.9903	4.217	0.2839	-	
Lago Carraízo		-	-	0.1467	-	

CONCLUSIONES Y RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio exhaustivo sobre la autoecología del jacinto de agua, *Eichhornia crassipes* en relación a algunos aspectos sobre la limnología del Lago Carraízo. En términos de su productividad el jacinto promedio del Lago Carraízo exhibirá una razón de crecimiento de $172 \text{ g/m}^2/\text{d}$ (peso húmedo).

Durante el período de estudio (27 días) se estableció una relación lineal entre el peso inicial de cada jacinto y el % de incremento en peso con respecto al peso original, registrándose un aumento del 139.6%.

El factor de incremento diario promedio para el jacinto de agua del Lago Carraízo resultó en 1.0256, lo que indica que el jacinto de agua duplicará su biomasa cada 28 días.

La producción deseudoláminas en los jacintos respondió a una curva exponencial, produciendo en promedio 7.54 hojas/día o 140,973,290 hojas al año. Por otro lado, la predación ejercida a laseudolámina mostró que por cada 7.54 hojas/día producida un 38.9% de ellas sera predada, que al año significara en 54,810,417 hojas predadas.

Contrario a la producción de hojas, la mortalidad resultó mínima, registrándose una mortalidad de 0.39 hojas/día o 142.4 hojas al año. No se halló correlación alguna entre el porcentaje de hojas muertas y el porcentaje de hojas predadas.

Se encontró una marcada diferencia entre las poblaciones de jacintos de agua con respecto a numero de plantas por metro cuadrado, biomasa por metro cuadrado y altura promedio de los jacintos en

distintas localidades a través del Lago Carraízo. Con respecto al número de plantas, el Río Gurabo mostró el mayor número de plantas por metro cuadrado con 22, segundo fue el Río Grande de Loíza (21.33 plts/m²), el Lago Carraízo (14.66 plts/m²) y el Río Caguitas (12.5 plts/m²). En cuanto al rendimiento en biomasa, la región del Lago Carraízo resultó con el mayor rendimiento, reflejando un valor de 16.685 kgs/m², seguido por el Río Gurabo (8.999 kgs/m²), la región del Río Grande de Loíza (8.355 kgs/m²) y el Río Caguitas (4.913 kgs/m²). Finalmente, la diferencia en la altura entre los jacintos observados estableció a los jacintos del área del Lago Carraízo con el mayor valor promedio (101.36cm.), seguidos por el Río Gurabo (41.60cm.), el Río Grande de Loíza (32.79cm.) y el Río Caguitas (29.66cm.). Este patrón responde a la diferenciación morfológica sugerida por Cooley & Martin (1978b), más pruebas efectuadas en el campo tienden a descartar esta teoría.

Por último, se encontró una relación significativa entre el largo total (cm.) y el peso (g) de los jacintos de agua, en donde se estableció que el jacinto de agua guarda la relación de tamaño a peso (cm:g), de 1:12.54. Esta razón puede influir en la flotabilidad de la planta.

El Río Grande de Loíza, el Río Caguitas y el Río Gurabo exhiben las características de cuerpos de agua a los cuales reciben el impacto de la escorrentía y las descargas de desperdicios industriales y descargas crudas o semi-crudas de plantas de tratamiento de aguas domésticas. Estos insumos aportan cantidades significativas de nitrógeno, fósforo compuestos orgánicos no

biodegradables y metales pesados. En el Río Grande de Loíza, estos valores promedian 0.4969 y 0.4965 mg/l de nitrógeno, 0.5389 y 0.2240 mg/l de fósforo, 116.6 y 133.9 mg/l de BOD, 5.102 y 8.225mg/l de COD para la superficie y fondo respectivamente.

El Río Caguitas exhibió valores de 6.285 y 8.6174 mg/l de nitrógeno, 1.0654 y 1.380 mg/l de fósforo, 107.2 y 121.7 mg/l de BOD, 45.51 y 47.80 mg/l de COD, para la superficie y fondo respectivamente. En esta estación se registró la mayor concentración de orgánicos, lo que responde a las descargas de plantas de tratamiento de aguas negras.

La estación del Río Gurabo mostró valores promedio de 2.903, 1.4419 y 2.1782 mg/l de nitrógeno total, 0.3026, 0.8278 y 0.7643 mg/l de fósforo total, 100.15, 101.5 y 98.89 mg/l de BOD y 17.60, 17.37 y 20.52 mg/l de COD, para la superficie, profundidad media y el fondo. Por último, la estación del Lago Carraízo es un reflejo de los tributarios que lo alimentan obteniendo valores de 1.2440, 1.204 y 1.240 mg/l de nitrógeno total, 1.0833, 1.119 y 1.850 mg/l de fósforo total, 69.7, 83.11 y 98.45 mg/l de BOD y 13.55, 13.25 y 19.68 mg/l de COD para la superficie, la profundidad media y el fondo respectivamente. En todas las estaciones se detectaron cantidades significativas de mercurio y cobre, como también los flujos intermitentes de plomo y cadmio. El metal más abundante lo constituyó el calcio en todas las estaciones.

Las curvas de oxígeno disuelto del Río Gurabo y el Lago Carraízo responden al patrón de curva de clinogrado, mientras que las estaciones del Río Grande de Loíza y el Río Caguitas debido a su escasa profundidad, mostraron una distribución más uniforme

en la columna de agua. Se observó una variación significativa en la concentración de oxígeno disuelto en días soleados y días nublados en las estaciones del Río Gurabo y el Lago Carraízo.

Los valores de pH observados en las cuatro estaciones fueron decreciendo a medida que se iba río abajo en dirección a la represa, en donde se registró una disminución en el pH a medida que se aumenta en profundidad.

La conductividad específica resultó aproximadamente similar en las estaciones del Río Grande de Loíza, Río Gurabo y el Lago Carraízo, mientras que el Río Gurabo observó los valores mayores (597-381 μ mhos/cm.).

Se determinó una relación inversa entre la transparencia y el coeficiente de extinción, en donde el Río Grande de Loíza exhibió el mayor valor de coeficiente de extinción (3.76) y la transparencia menor (p.3014m.). En adición, el valor del coeficiente de extinción disminuiría a medida que se viajaba en dirección a la represa.

Aproximadamente 195.77 toneladas métricas de nitrógeno total y 145.94 toneladas métricas de fósforo total fueron descargadas al Lago Carraízo por los tres tributarios principales. El Río Grande de Loíza contribuyó con la mayor aportación de fósforo total (105.76 tm.) y el Río Caguitas fue el tributario que más oxígeno total aportó al sistema (71.69 tm).

Por otro lado, se practicaron en el jacinto de agua pruebas concernientes a determinar el contenido de humedad, la composición bruta y la bioacumulación de metales en los tejidos. En el primer caso, se determinó que el jacinto promedio del Lago

Carraízo posee un 94.4% de contenido de humedad. En adición se comprobó la relación lineal existente entre el peso húmedo y el peso seco. Por cada parte de sólido sintetizada, se determinó que el jacinto de agua incorporará 18.9 partes de agua.

Las pruebas de composición bruta se llevaron a cabo en dos tipos de jacintos diferentes, (pequeño y super jacinto) con el propósito de señalar diferencias en su contenido nutricional. Además, se analizaron estos jacintos en cuatro secciones dentro de su morfología.

Para los valores de carbono orgánico, el super jacinto mostró un 21.69% (peso seco), mientras que el jacinto pequeño resultó en un 16.5%. En términos de la sección morfológica, el super jacinto concentró el mayor porcentaje en la hoja, mientras que el pequeño lo concentró en las raíces.

El mayor contenido de nitrógeno total recayó en el jacinto pequeño, con un valor promedio de 2.54%, mientras que el super jacinto demostró un porcentaje del 2.134%. En ambos tipos de jacintos la sección morfológica que mayor contenido de nitrógeno exhibió fue la pseudolámina.

La razón de carbono a nitrógeno (C/N) mayor recayó en el jacinto (10.16). Dentro de su sección morfológica, el peciolo demostró el valor mayor (27.92). Esta resultó en la porción más adecuada para la producción de biogas.

El porcentaje de proteína cruda resulta proporcional al contenido de nitrógeno total. El jacinto pequeño muestra el valor mayor, con 15.88%, mientras que el super jacinto muestra un valor promedio de 13.34%.

El contenido de fósforo total resultó significativamente mayor en el super jacinto (0.22%) comparado con el jacinto pequeño (0.016%). En ambos casos la mayor concentración del fósforo total se encontró entre la hoja y el peciolo.

Los valores de azufre encontrados para ambos tipos de jacintos resultaron muy por encima de los valores reportados en investigaciones previas. El porcentaje mayor de azufre recayó en el super jacinto, el cual mostró un valor de 3.68% contra un 2.89% del jacinto pequeño. La sección morfológica en que mayor porcentaje se observó fue en las raíces del super jacinto, con un valor máximo de 8.3% de azufre. Este dato posiblemente refleje en las condiciones ambientales en que se desenvuelve.

Se encontró una relación inversa entre el contenido calórico y el contenido de cenizas en ambos tipos de jacintos de agua. El contenido mayor de cenizas lo demostró el jacinto pequeño (35.4%) el cual observó un menor contenido calórico (2.588 kcal/g), mientras que el super jacinto obtuvo el mayor contenido calórico (3.139 kcal/g) y menor contenido de cenizas (19.8%). Para ambos casos, el contenido calórico se concentra en la hoja y el peciolo, respectivamente. La sección morfológica que mostró menor contenido calórico fue la raíz para ambos casos, mas las raíces del jacinto pequeño resultó significativamente superior al super jacinto (66%). Esto concuerda con el menor valor de contenido calórico en sus raíces, lo que puede atribuirse al gran contenido de minerales.

LITERATURA CITADA

- American Public Health Association, 1974. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastes*. 14th. ed. APHA, Washington, D.C., 1193 pp.
- Arnold, T. & J.W. Crooks, 1960. Public Water Supplies in Puerto Rico. *Water Resources Bulletin* no. 2, U.S. Geological Survey, 34 pp.
- Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico, 1980. *Informe Anual 1978-1979*. Area de Operaciones.
- Bagnall, L.O., 1979. *Solar Drying Water Hyacinths*. Paper presented at the Aquatic Plant Management Society, Chattanooga, Tenn.
- Biaggi, N., 1965. Puerto Rico's Water Pollution Image. *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 37(8), pp. 381-391.
- Bock, J.H., 1966. *An Ecological Study of Eichhornia crassipes With Special Emphasis on its Reproductive Biology*. Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley.
- Boyd, C.E., 1968. Fresh Water Plants: A Potential Source of Protein. *Econ. Bot.*, vol. 22, pp. 359-368.
- _____, 1969. The Nutritive Value of Three Species of Water Weeds. *Econ. Bot.*, vol. 23, pp. 123-127.
- _____, 1970. Vascular Aquatic Plants for Mineral Nutrient Removal from Polluted Waters. *Econ. Bot.*, vol. 24, pp. 95-103.
- _____, 1976. Accumulation of Dry Matter, Nitrogen and Phosphorus by Cultivated Water Hyacinths. *Econ. Bot.*, vol. 30, pp. 51-56.
- Brown, R.A., W.R. Jobin, A. Laracuente, R. Mercado & V. Quiñones, 1979. *Preliminary Results From a Survey of Water Quality in Some Puerto Rican Lakes*. Center for Energy and Environment Research, CEER-15, 270 pp.
- Burkstaller, J.E. & P.L. Mc Carty, 1975. Oxidation of Cinnabar by Fe (III) in Acid Mine Waters. *Environ. Science Tech.*, 9(7), pp. 676-679.
- Carbajal-Zamora, J.R., 1974. *Estudio Cualitativo y Cuantitativo del Zooplancón en el Lago Loíza I y II. Variaciones Diurnas y Estacionales*. Depto. Recursos Naturales, 27 pp.
- Chapman, H.D. & P.F. Pratt, 1961. *Methods of Analysis for Soils, Plants, and Waters*. University of California.

- Cooley, T.N. & D.F. Martin, 1977. Factors Affecting the Distribution of Trace Elements in Aquatic Plants - Water Hyacinth. *Jour. Inorg. Nucl. Chem.*, vol. 39, pp. 1893-1896.
- _____, M.H. González, & D.F. Martin, 1978a. Radio, Manganese, Iron and Phosphorus Uptake by Water Hyacinth and Economic Implications. *Econ. Bot.*, 32(4), pp. 371-378.
- Cooley, T.N. & D.F. Martin, 1978b. Seeking "Super Hyacinths". *Jour. Environ. Sci. Hlth.*, A13(7), pp. 469-479.
- _____, W.C. Durden & B.D. Perkins, 1979. A Preliminary Study of Metal Distribution in Three Water Hyacinths Biotypes. *Water Res.*, vol. 13, pp. 343-348.
- Cornwell, D.A., D. Zolteck, C.D. Patrinely, T de S. Furman & J.I. Kim, 1977. Nutrient Removal of Water Hyacinths. *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 49(1), pp. 57-65.
- Daniels, F., J.W. Williams, P. Bender, R.A. Alberty, C.D. Cornwell & J.E. Harriman, 1970. *Experimental Physical Chemistry*. Mc Graw Hill Book Company 7th. ed.
- Departamento de Recursos Naturales, 1978. *Plan Integral de Uso, Conservación y Desarrollo de los Recursos de Agua de Puerto Rico*. Oficina de Planificación y Análisis de Recursos de Agua.
- Departamento de Salud & Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico, 1963. *Loiza River and Tributaries Stream Survey*.
- Dinges, R., 1976. *Water Hyacinth Culture for Wastewater Treatment*. Texas Department of Health Resources, Division of Wastewater Technology and Surveillance.
- _____, 1978a. Upgrading Stabilization Pond Effluent by Water Hyacinth Culture. *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 50(5), pp. 833-845.
- _____, 1978b. Aquatic Vegetation and Water Pollution Control: Public Health Implications. *Amer. Jour. Public Hlth.*, 68(12), pp. 1202-1205.
- Erdman, D.S., 1972. *Inland Game Fishes of Puerto Rico*. Department of Agriculture, Centralized and Ancillary Operation Services, 4(2), 96 pp.
- _____, A. Valido & N. Estrada, 1973. *Loiza Reservoir Fisheries Investigation*. Department of Natural Resources, 33 pp.

Estrada, A., 1981. Datos sin Publicar. Estudio Preliminar Flora del Río Grande de Loíza y el Lago Carraízo.

Fruh, E.G., K.M. Steward, G.F. Lee & G.A. Rahlich, 1967. Measurements of Eutrophication and Trends. *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 38(8), pp. 1237-1258.

García-Castro, J.M., 1980. Datos sin Publicar. Modificación Método Mercurio.

_____, 1980a. Contaminación por mercurio. Posibles Efectos de la Exposición Crónica a Dosis Bajas en Niños de Juncos, Puerto Rico. *Revista de Salud Pública*, vol. 12, pp. 11-17.

Giusti, E.V. & M.A. López, 1967. Climate and Streamflow of Puerto Rico. *Carib. J. Sci.* 7(3-4), pp. 87-94.

Goodman, N. D. Pimentel, 1979. Biomass Energy Conversion as an Alternate Energy Source. *Compost Science/Land Utilization*, Jan-Feb., pp. 28-31.

Gopal, B. & K.P. Sharma, 1979. Aquatic Weed Control Versus Utilization. *Econ. Bot.*, 33(3), pp. 340-346.

Haller, W.T. & D.L. Sutton, 1973. Effect of pH and High Phosphorus Concentrations on Growth of Water Hyacinths. *Hyacinth Control J.* vol. 11, pp. 59-63.

Haller, W.T., E.B. Knipling & S.H. West, 1970. Phosphorus Absorption by and Distribution in Water Hyacinth. *Soil Crop Science Soc. Fla.*, vol. 30, pp. 64-68.

Hutchinson, G.E., 1957. *A Treatise In Limnology*, Vol. I. Jolin Wiley & Sons. New York, N.Y., 1015 pp.

Jackson, M.L., 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 498 pp.

Jewell, W.J., 1971. Aquatic Weed Decay: Dissolved Oxygen Utilization and Nitrogen and Phosphorus Regeneration. *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 43(7), pp. 1457-1467.

Jobin, W.R., F.F. Ferguson, R. Brown, 1976. *Ecological Review of Hydroelectric Reservoirs in Puerto Rico*. Center for Energy and Environment Research, CEER-001.

_____, R.A. Brown, S.P. Velez, F.F. Ferguson, 1977. Biological Control of *Biomphalaria glabrata* in Major Reservoirs of Puerto Rico. *Am. Jour. Trop. Med. & Hyg.*, 26(5), pp. 1018-1024.

- Josedodibroto, J., L.S. Widyanto & H. Soerjani, 1979. *Potential Uses of Some Aquatic Weed Species As A Pulp Material*. Paper submitted at the Aquatic Plant Management Society Annual Meeting, Chattanooga, Tenn.
- Junta de Calidad Ambiental, 1976. *Enmiendas A Ciertas Secciones del Reglamento de Estándares de Calidad de Agua*, 15 pp.
- _____, 1978. *208 Island-Wide Project*, 482 pp.
- Knipling, E.B., S.H. West & W.T. Haller, 1970. Growth Characteristics, Yield Potential and Nutritive Content of Water Hyacinths. *Soil Crop Science Soc. Fla.*, vol. 30, pp. 51-63.
- Recuyer, R.P. & J.H. Marteen, 1976. *An Economic Assessment of Fuel Gas From Water Hyacinths*. Symposium Clean Fuels from Biomass, Sewage, Urban Refuse and Agricultural Wastes. Institute of Gas Technology, Orlando, Fla.
- Magos, L. & T.W. Clarkson, 1972. Atomic Absorption Determination of Total, Inorganic and Organic Mercury in Blood. *J.A.O.A.C.*, 55(5), pp. 966-971.
- Martinez, R., 1979. *Estudio Comparativo de la Limnología de los Embalses Mayores de Puerto Rico*. Tesis de Maestría, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, Departamento de Biología.
- Mc Donald, R.C. & B.C. Wolverton, 1980. Comparative Study of Wastewater Lagoon With and Without Water Hyacinths. *Econ. Bot.*, 34(2), pp. 101-110.
- Mc Intosh, A.W., B.K. Shepard, R.A. Mayes, G.J. Atchison & D.W. Nelson, 1978. Some Aspects of Sediment Distribution and Macrophyte Cycling of Heavy Metals in a Contaminated Lake. *Jour. Environ. Qual.*, 7(3), pp. 301-305.
- National Oceanic and Atmospheric Administration, 1980. *Climatological Data, Puerto Rico and Virgin Islands* 26(6-10).
- Oceanographic International Corp., 1977. *Instruction And Procedures Manual*. Texas, U.S.A.
- Ornes, W.H. & P.L. Sutton, 1975. Removal of Phosphorus From Static Sewage Effluent By Water Hyacinths *Hyacinth Control J.*, vol. 13, pp. 56-58.
- Ortiz, W., 1981. Comunicación personal
- Parr Instruments, Co., 1970. *Oxygen Bomb Calorimetry And Combustion Methods*. Technical Manual no. 130.

- Parra, J.V. & C.C. Hortenstine, 1974. Plant Nutritional Content of Some Florida Water Hyacinths and Response by Pearl Millet to Incorporation of Water Hyacinths. *Hyacinth Control J.* vol 12, pp. 85-90.
- Pease, M.H., 1968. *Geological Map of the Aguas Buenas Quadrangle, Puerto Rico*. U.S. Geological Survey W.R.D., Miscellaneous Geologic Investigations, Map. I-479.
- Penfound, W.T., 1956. Primary Production of Vascular Aquatic Plants. *Limn. & Ocean.*, vol. 1, pp.92-101.
- _____, & T.T. Earle, 1948. The Biology of the Water Hyacinth. *Ecol. Monographs*, 18(4), pp. 447-472.
- Perkin-Elmer Corp., 1976. *Analytical Methods For Atomic Absorption Spectrophotometry*. Norwalk, C.T.
- Pettet, A., 1964. Seedlings of *Eichhornia crassipes*: A Possible Complication to Control Measures in the Sudan. *Nature*, 201 (4918), pp. 516-517.
- Pirie, N.W., 1960. Water Hyacinth: A Curse or a Crop? *Nature*, 185 (4706), p. 116.
- Quiñones-Márquez, F., 1976. Problemas Ambientales de Puerto Rico: Eutroficación. *CIIA*, 28(2), pp. 19-21.
- _____, 1980. *Limnology of Lago Loiza, Puerto Rico*. U.S. Geological Survey, WRI 79-97.
- Ray, P.M., 1963. *The Living Plant*. Holt, Rinehart & Winston, N.Y. U.S.A.
- Rho, J. & H.B. Gunner, 1978. Microfloral Response to Aquatic Weed Decomposition. *Water Res.*, vik, 12, pp. 165-170.
- Rivera, J.E., 1975. *Pesquería en Lagos de Puerto Rico*. En: Segundo Simposio, Departamento de Recursos Naturales, pp. 164-176.
- _____, 1976a. *Estudio de las Poblaciones Piscícolas en los Lagos Loiza y Guajataca*. En: Tercer Simposio del Departamento de Recursos Naturales, pp. 1-10.
- _____, 1976b. *Relationships Between the Population Dynamics And Environmental Water Quality of Four Fisheries in Puerto Rico*. Department of Natural Resources, 156 pp.
- Rushing, W.N., 1974. Water Hyacinth Research In Puerto Rico. *Hyacinth Control J.*, vol. 12 pp. 48-52.
- Shulte, T.L., 1973. *An Initial Analysis of the Fishery Population Of Five Puerto Rican Reservoirs*. En: Primer Simposio del Departamento de Recursos Naturales, pp. 81-107.

- _____, 1975. *Loiza Reservoir Fisheries Investigation*. Department of Natural Resources, 16 pp.
- Smith, R.L., 1977. *Elements of Ecology and Field Biology*. Harper & Row Publishers, N.Y., 497 pp.
- Steward, K.K., 1970. Nutrient Removal Potentials of Various Aquatic Plants. *Hyacinth Control J.*, vol. 8, pp. 34-35.
- Theis, T.L. & P.J. Mc Cabe, 1978. Phosphorus Dynamics In Hipereutrophic Lake Sediments. *Water Res.*, vol. 12, pp. 677-685.
- Timmer, C.E. & L.W. Weldon, 1967. Evapotranspiration and Pollution of Water by Water Hyacinths. *Hyacinth Control J.*, vol. 6, pp. 34-37.
- Tridech, S., A.J. Englande, M.J. Herberg & R.F. Wilkinson, 1979. *Tertiary Wastewater Treatment By The Application of Vascular Aquatic Weeds*. Paper submitted at the Energy Optimization of Water and Wastewater Management for Municipal and Industrial Applications. DOE, La.
- United States Environmental Protection Agency, 1975. *Materials Balance And Technology Assessment of Mercury And It's Compounds On National And Regional Basis*. EPA 560/3-75-007.
- _____, 1979. *Methods For Chemical Analysis Of Water And Wastes*. EPA 600/4-79-020.
- Vietmeyer, N.D., 1975. The Beautiful Blue Devil. *Natural History*, 84(9), pp. 65-73.
- Villamil, J., 1979. El Jacinto de Agua *Eichhornia crassipes* {Mart (Solms)}, Promesa para el Futuro. *Bol. Científico del Sur*, 6(4), pp. 167-168.
- _____, & M.D. Erdman, 1979. *An Evaluation Of The Biogas Rates From Water Hyacinths Harvested From Lake Carráizo*. Center for Energy and Environment Research. Proposal submitted to PRASA.
- _____, 1980. Evaluation of the Potential of Water Hyacinths *Eichhornia crassipes* {Mart (Solms)} for their Bioconversion to Methane. *Bol. Científico del Sur*, 7(1), pp. 3-8.
- Villamil, J., R.G. Clements, A. Mc B. Block, P. Weil, A. García, W. Lao, L.I. Rosa & F.A. Santos, 1979. *Water Hyacinths For The Clarification Of Wastewaters And The Production Of Energy*. Center for Energy and Environment Research, CEER-C-36.
- Wahlquist, H., 1972. Production of Water Hyacinths and Resulting Water Quality in Earthen Ponds. *Hyacinth Control J.*, vol. 10, pp. 9-11.

- Wetzel, R.C., 1975. *Limnology*. W.B.S. Saunders Co. Philadelphia, Pa.
- Widyanto, L.S. & A. Sopannata, 1979. *Water Hyacinths (Eichhornia crassipes (Mart) Solms) As A Potential Plant In A Paper Factory*. Paper presented at the Aquatic Plant Management Annual Meeting, Chattanooga, Tenn.
- Wolverton, B.C., 1975a. *Water Hyacinths For Removal Of Phenols From Polluted Waters*. NASA Technical Memorandum TM-X-72722, National Space Technology Laboratories (NSTL), Mississippi, U.S.A.
- _____, 1975b. *Water Hyacinths For Removal Of Cadmium And Nickel From Polluted Waters*. NASA Technical Memorandum TM-X-72721, NSTL, Mississippi.
- Wolverton, B.C. & R.C. Mc Donald, 1975a. *Water Hyacinths, Eichhornia crassipes (Mart) Solms, A Renewable Source Of Energy*. NASA Technical Memorandum, Workshop #3., NSTL, Mississippi.
- _____, 1975b. *Water Hyacinths And Alligator Weeds For Removal Of Lead And Mercury From Polluted Waters*. NASA Tech. Memorandum TM-X-72723, NSTL, Mississippi.
- _____, 1975c. *Water Hyacinths And Alligator Weeds For Removal Of Silver, Cobalt, And Strontium From Polluted Waters*. NASA Tech. Memorandum TM-X-72727, NSTL, Mississippi.
- _____, 1978a. *Bioaccumulation And Detection Of Trace Levels Of Cadmium In Aquatic Systems By Eichhornia crassipes*. *Environ. Hlth. Perspectives*, vol. 27, pp. 161-164.
- _____, 1978b. *Nutritional Composition Of Water Hyacinths Grown On Domestic Sewage*. *Econ. Bot.*, 32(4), pp. 363-370.
- _____, 1979a. *The Water Hyacinth: From Prolific Pest To Potential Provider*. *Ambio*, 8(1), pp. 2-9 (Sweden).
- _____, 1979b. *Upgrading Facultative Wastewater Lagoons With Vascular Aquatic Plants*. *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 51(2), pp. 305-313.
- _____, 1979c. *Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) Productivity And Harvesting Studies*. *Econ. Bot.*, 33(1), pp. 1-10.
- _____, & J. Gordon, 1975. *Water Hyacinths And Alligator Weeds For Final Filtration of Sewage*. NASA Tech. Memorandum TM-X-72724, NSTL, Mississippi.

Wooten, J. & J.D. Dodd, 1976. Growth Of Water Hyacinths In Treated Sewage Effluent. *Econ. Bot.*, vol. 30, pp. 29-37.

Yount, J.L. & R.A. Crossman, 1970. Eutrophication Control By Plant Harvesting. *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 42(5), Part II, pp. R173-183.