

CEER

Report #9

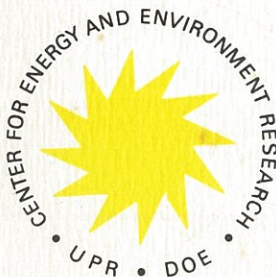
PATILLAS
CARRAIZO
DOS BOCAS
GUAJATACA

ESTUDIO DE PRODUCCION Y DISTRIBUCION
VERTICAL DE OXIGENO EN CUATRO LAGOS
DE PUERTO RICO, 1978

Por

Juan B. Rivera Martínez

enero 1979



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

CEER

Report #9

PATILLAS
CARRAIZO
DOS BOCAS
GUAJATACA

ESTUDIO DE PRODUCCION Y DISTRIBUCION
VERTICAL DE OXIGENO EN CUATRO LAGOS
DE PUERTO RICO, 1978

Por

Juan B. Rivera Martínez

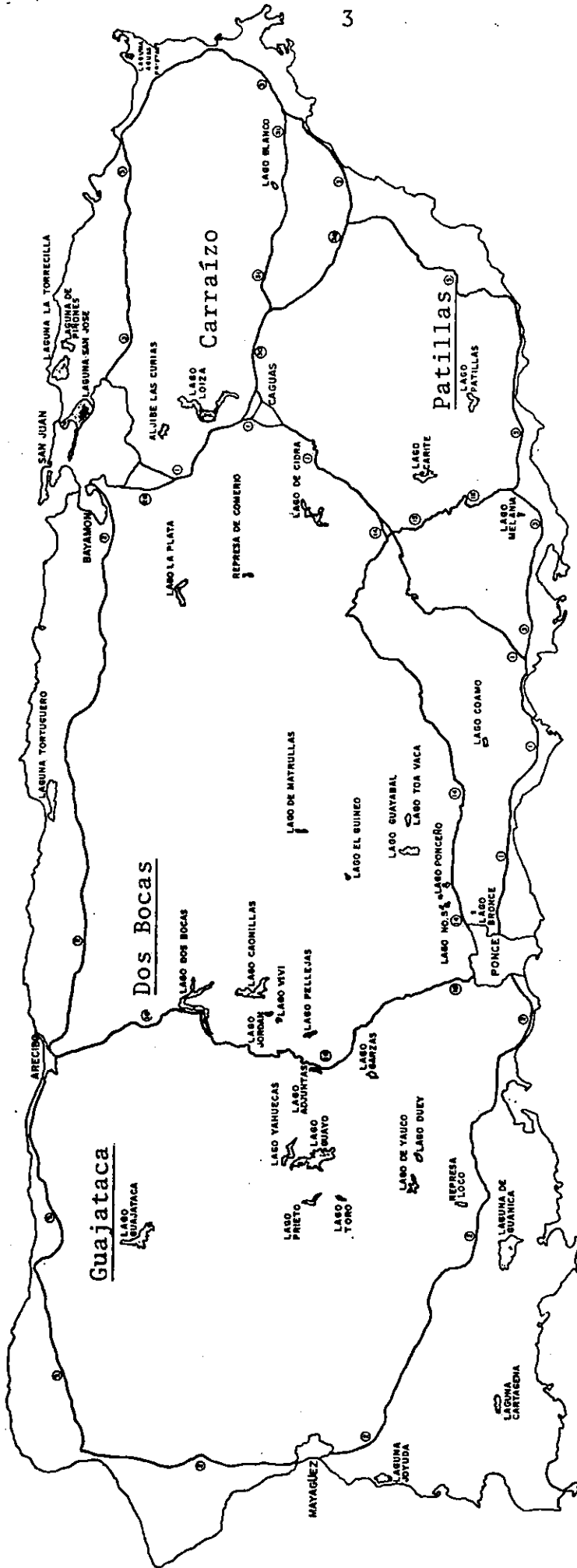
enero 1979

Foreword

This report is the result of a summer program for Student Research Participants in cooperation with the Oak Ridge Associated Universities. The student, Mr. Juan B. Rivera Martínez was enrolled during the academic year at the University of Puerto Rico in Mayaguez, and worked on this research project under supervision of Dr. William R. Jobin of the Human Ecology Division at the Center for Energy and Environment Research. This summer project was integrated with a 3 year study on "The Health Impact of Hydroelectric Reservoirs in the Tropics" and was partially funded under Contract #Y-76-C-05-1833 with the U.S. Department of Energy.

ABSTRACT

This research was based on the production and vertical distribution of oxygen in four lakes in Puerto Rico. We selected these four lakes because they are examples of the most common lakes on the island. A study of oxygen is important to understand the water quality and to determine suitability of the lake for fish life. This report included a study of oxygen production in Lake Patillas, a very stable system with an oxygen concentration at approximately saturation level (oxygen in first meter = 7.2 ppm at 28.2°C while the saturation concentration level is 7.9 at this temperature), and a net productivity of 0.0 mg/L. Also the research included a study of the vertical distribution of oxygen in Lake Carraízo (one with severe eutrophication problems), Lago Guajataca (a very clean lake with a secchi disk measurement of 2.16 m) and Lake Dos Bocas, a normal lake with oxygen concentration of 7.0 ppm (mg/L at 30°C saturation level = 7.6 ppm). According to the results of this investigation Lake Guajataca is in the best condition while Lake Carraízo is severely eutrophied.



LOCATION OF LAKES IN PUERTO RICO

MAPA DE LOS LAGOS DE PUERTO RICO

INTRODUCCION

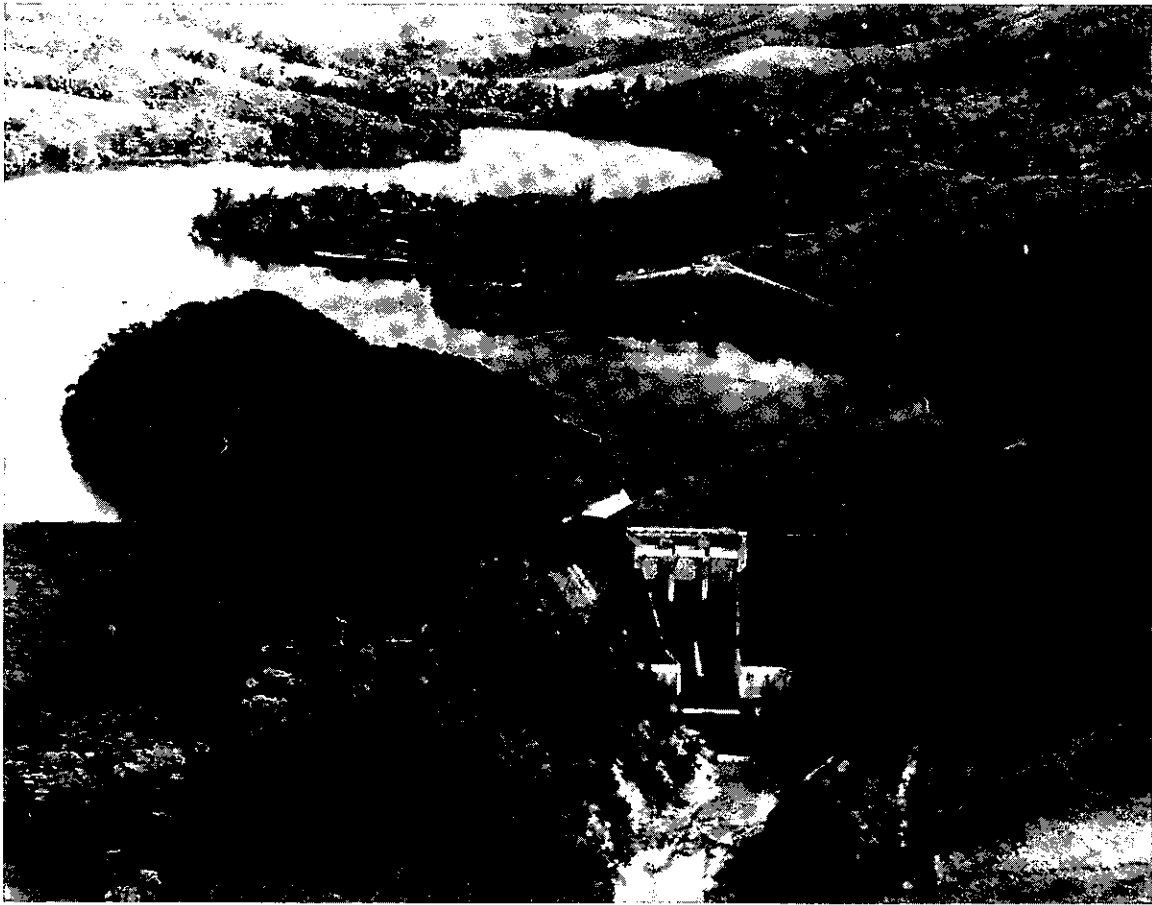
Los lagos usualmente son mas profundos que otros cuerpos interiores de aguas.. Poseen ciertas características de temperatura y oxígeno. Reciben, almacenan, transforman, utilizan y disuelven al ambiente energía en el flujo continuo. De esto depende la vida total dentro del sistema mismo.

Los lagos que tienen conexión con otros cuerpos de agua se llaman ecosistemas abiertos, lo mismo que los ríos. La boca de salida es un río o como en el caso del Lago Patillas un canal. El agua de un lago de agua dulce se deriva de la lluvia, agua subterránea o agua fluvial. La composición de un lago dependerá mucho de la composición de las rocas sobre o a través de las cuales el agua ha pasado y la características del terreno circundantes, pues con este intercambiará materia y energía.

El lago Patillas es un lago artificial construido en 1914 cerca del pueblo de Patillas, 48.9 Km al sur de San Juan. Es usado básicamente para irrigación y un tanto tiene un área superficial de aproximadamente 134.41 hectáreas y un volumen de $182.2 \times 10^6 \text{ m}^3$.¹

Sus mayores tributarios son el río Patillas al noroeste y el Marín al noreste de dicho lago. Esta alimentado por un promedio de precipitación 127.3 cm sobre un area de 65.27 Km².

¹Puerto Rico Sport Fisheries Research and Survey
Relationship Between the Population Dynamics and
Environmental Water Quality of four Fisheries in
Puerto Rico July 1, 1973-June 30, 1976 pag. 66



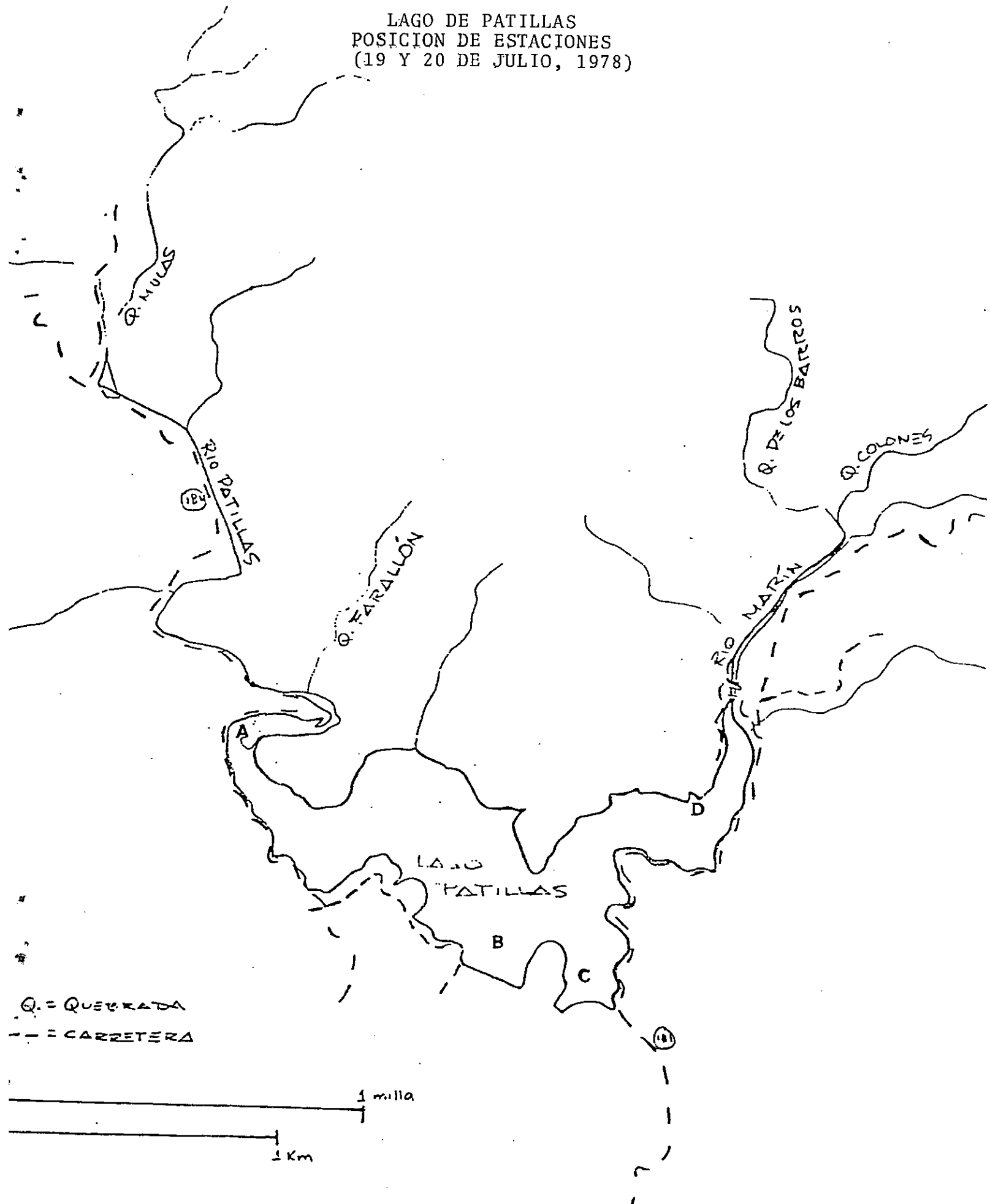
LAGO DE PATILLAS

Este lago está rodeado por una amplia vegetación en constante intercambio de biomasa con sus aguas que a su vez están en constante cambio en nivel. En muchas áreas se ven árboles sumergidos y pedazos de madero flotando. Este tipo de intercambio de biomasa requerirá una mayor cantidad de oxígeno para el proceso de descomposición bacteriana y para la respiración de algunos animales que se alimentan de esta materia en descomposición.

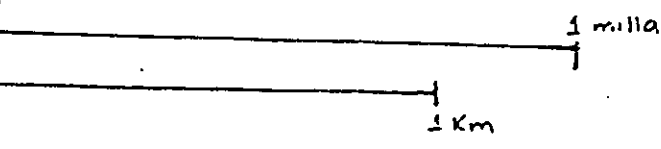
El estudio es hecho con especial interés en la producción de O₂ por tiempo (mayormente por fotosíntesis y consumido por respiración), e incluyendo un estudio de la distribución vertical de oxígeno en agua dulce. Estos 2 tipos de estudios químicos son importantes; primero, porque la cantidad de oxígeno producida por fotosíntesis va a tener influencias en las especies de animales que habitarán estas aguas, segundo, como antes mencionamos la descomposición orgánica afectará la cantidad de oxígeno, pues a mayor descomposición mayor utilización de oxígeno por descomponedores. Este estudio, de distribución vertical de oxígeno fue acompañado por un estudio de temperatura según aumenta la profundidad, por la razón que la descomposición esta afectada por un cambio en temperatura (a menor temperatura menor descomposición²). Vemos así la temperatura como un efecto energético-ambiental influyente en un ecosistema como lo es en un lago.

²Esto se debe a que el suministro de energía termal es menor y este proceso bioquímico requiere energía para continuar en proceso.

LAGO DE PATILLAS
POSICION DE ESTACIONES
(19 Y 20 DE JULIO, 1978)



Q. = QUEBRADA
-- = CARRETERA



Métodos e Instrumentos

Para el estudio de distribución vertical de oxígeno y temperatura se uso un medidor de oxígeno disuelto Yellow Springs Instruments modelo 51 B. Este instrumento se usa para medir oxígeno disuelto en agua limpia y también en aguas de albañal a ser tratadas (se puede usar en otros líquidos). Está calibrado para leerse la cantidad de oxígeno disuelto en partes por millón (Ppm) en una escala de 0-15Ppm. La temperatura se lee en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$).

El aparato consiste de un detector cubierto por una membrana semipermeable al oxígeno y otros gases, que lo aísla de elementos que están en el ambiente a ser medido. Cuando se aplica un voltaje polarizante a través del detector, el oxígeno que ha pasado reacciona en el cátodo causando un flujo de corriente. Éste es detectado en un potenciómetro en Ppm, pues a mayor presión parcial de oxígeno sobre la membrana mayor será el flujo de oxígeno a través de la membrana. (Ley de difunción de gases a través de una membrana).

Con el método de las botellas blancas y negras (donde se sumergen dos pares de cada una y otra de la muestra inicial de agua) se fija con reactivo de modo que pueda averiguarse la concentración original de oxígeno en dicha profundidad. Luego las botellas se sumergirán a la misma profundidad de donde fueron extraídas inicialmente. Al final de un período de 24 horas se sacan las parejas de botellas y se determina la concentración de oxígeno.



LABORATORIO RODANTE PARA LOS ESTUDIOS DE LOS LAGOS.

El método de Winkle es el procedimiento que usamos para la medición de oxígeno en el agua. Comprende la fijación con $MnSO_4$, H_2SO_4 y Yoduro alcalino que libera yodo elemental en proporción de oxígeno.³ El yodo es titulado con tiosulfato de sodio a una concentración calibrada para apreciar miligramos de oxígeno por litro lo cual es equivalente a partes por millón (Ppm)

Resultados

Usando el medidor de oxígeno disuelto de profundidad se pudieron obtener datos que fueron tomados en 4 puntos estratégicos en el lago. Estos están ilustrados en el Mapa 1 con las letras de A-D. Se tomaron las muestras en las entradas de los tributarios, pues el movimiento de las aguas en estos contribuye a la oxigenación artificial, y al cambio de temperatura de las aguas de la superficie con la de la profundidad. Los datos tomados (refiérase a apéndice 2 página 1-6) son de las cuatro estaciones en 2 días diferentes para así tener más seguridad de los datos adquiridos. Luego estos fueron puestos en gráficas (apéndice 1 página 1-6) para ser comparados con estudios anteriores.

Los datos tomados con el estudio muestran que las entradas de los ríos tributarios son poco profundas y que el sol llega hasta una profundidad bastante considerable, si lo comparamos con la profundidad total. Este dato es de importancia, pues en la entrada de los ríos puede ocurrir fotosíntesis hasta el fondo. El caso de la prueba de luz tomado con el disco de Secchi el día 11 de julio 1978 fue igual a la medida de fondo (esto indica que el sol entra hasta el fondo y que hasta allí puede ocurrir fotosíntesis).

³Ecología Odum (tercera edición) pág. 14

La relación inversa entre sitios de poca profundidad y presión parcial de oxígeno alta se pudo notar con mucha claridad, pues el nivel de oxígeno fluctuó entre 6 y 7 Ppm en las estaciones A y D. En las dos estaciones C y B, localizados en los sitios mas profundos del lago, la zona del dique y las compuertas (profundidad en el dique 9.6 m en promedio y en las compuertas 13.25m)⁴ la cantidad de oxígeno disuelto tuvo una caída al pasar la zona de 4 a 6 metros de profundidad y como aproximadamente 0Ppm en la zona de fondo, dándonos a entender que en la profundidad hay una utilización del oxígeno que es casi completa (refiérase a las tablas de la estación B y C página 4-7 apéndice 1)

El estudio de las botellas negras y blancas dio como resultado una producción de oxígeno baja; también por estudios no publicados, la cantidad de fosfato y nitratos de estas aguas no son muy apreciables.⁵ Lo obtenido nos indica que por su escasa contaminación la cantidad de oxígeno necesaria disminuye con la cantidad de algas y plantas acuáticas que aumentan con un aumento en la cantidad de nutrientes disponibles. Estas producen mayor cantidad de oxígeno por fotosíntesis.⁶ Esto es afirmado por los resultados de una producción neta de oxígeno de cero indicando que el consumo de oxígeno y la producción son aproximadamente iguales dando la apariencia de balance entre productores y consumidores.

⁴Datos similares estan demostrados en el estudio por el departamento de Recursos Naturales (junio 73-julio 76 subtimed by Jose E. Rivera Gonzalez

⁵Health Impacts of Hydro Electric Reservoirs in Puerto Rico
by Dr. Bill Jobin, Dr. Brown, R, Mercado, Sr. Quiñonez

Nota 5. Estos estudios revelaron que la cantidad de
fosfato era menor que 0.02 mg y la de nitratos
o nitrilos fluctua entre 0.0 y .06 mg/l

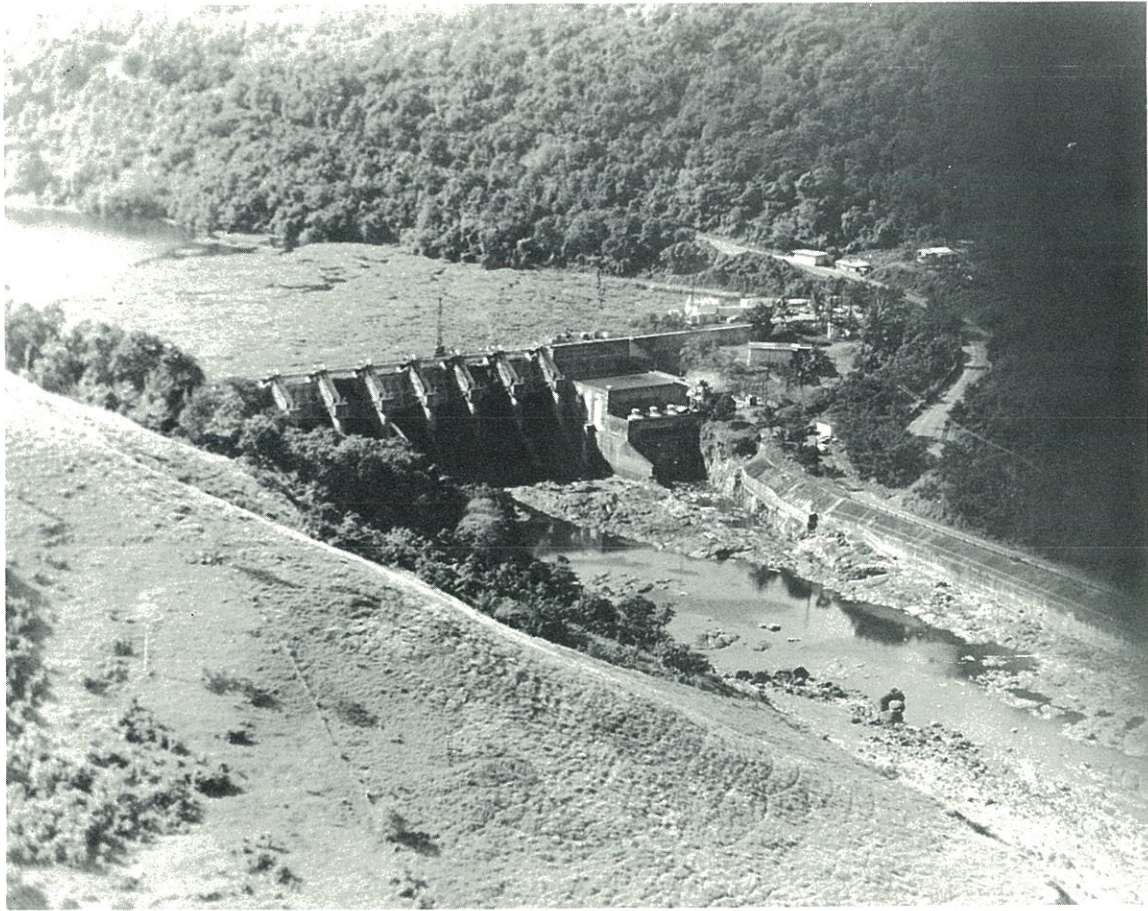
⁶Refiérase a la tabla 2.

Otra importante reserva de agua incluida en este estudio fue la del Lago Carraizo construido en 1954 en el pueblo de Trujillo Alto 17.7 Kms al sur de San Juan. Esta reserva es usada para propósitos domésticos mayormente, suple al área metropolitana de agua. Este lago ha sufrido por un tiempo problemas de eutrofización cultural y un estudio de la distribución vertical de oxígeno es de vital importancia para conocer en que condición se encuentra en la actualidad

Datos

Este lago tiene un area superficial de 392.0 hectáreas. Los mayores tributarios de este son el Río Loiza, Río Cañas, Río Caguitas y el Río Gurabo y está rodeado por un área de drenaje de 533,54 Km² y un promedio de precipitación de 153.0 cms por año. Este lago es de gran vegetación costera que estará en intercambio constante de materia y energía con sus aguas. Abundan plantas acuáticas flotantes, entre ellas los Jacintos de agua (Eichornia crassiper) indice de gran cantidad de nutrientes en estas aguas.

Los resultados tomados con el medidor de oxígeno disuelto muestran que la superficie de este lago la cantidad de oxígeno es muy baja para la supervivencia de ciertas especies de peces que requieren una cantidad mayor de 3.0 Ppm de O₂ disuelto (5.0 mg/l) mientras que en estas aguas hay un promedio de 4.03 mg/l de oxígeno disuelto en el primer metro donde mas se supone halla; bajo estas condiciones solo podrán sobrevivir algunas especies que por selección natural han conquistado la supremacía en aguas contaminadas entre ellas estan Tilapia (Sarotherodon m)



LAGO CARRAIZO (LAGO LOIZA)

mossambica que en este lago es una de las especies mas abundantes (85% de la población total para el año 1975).

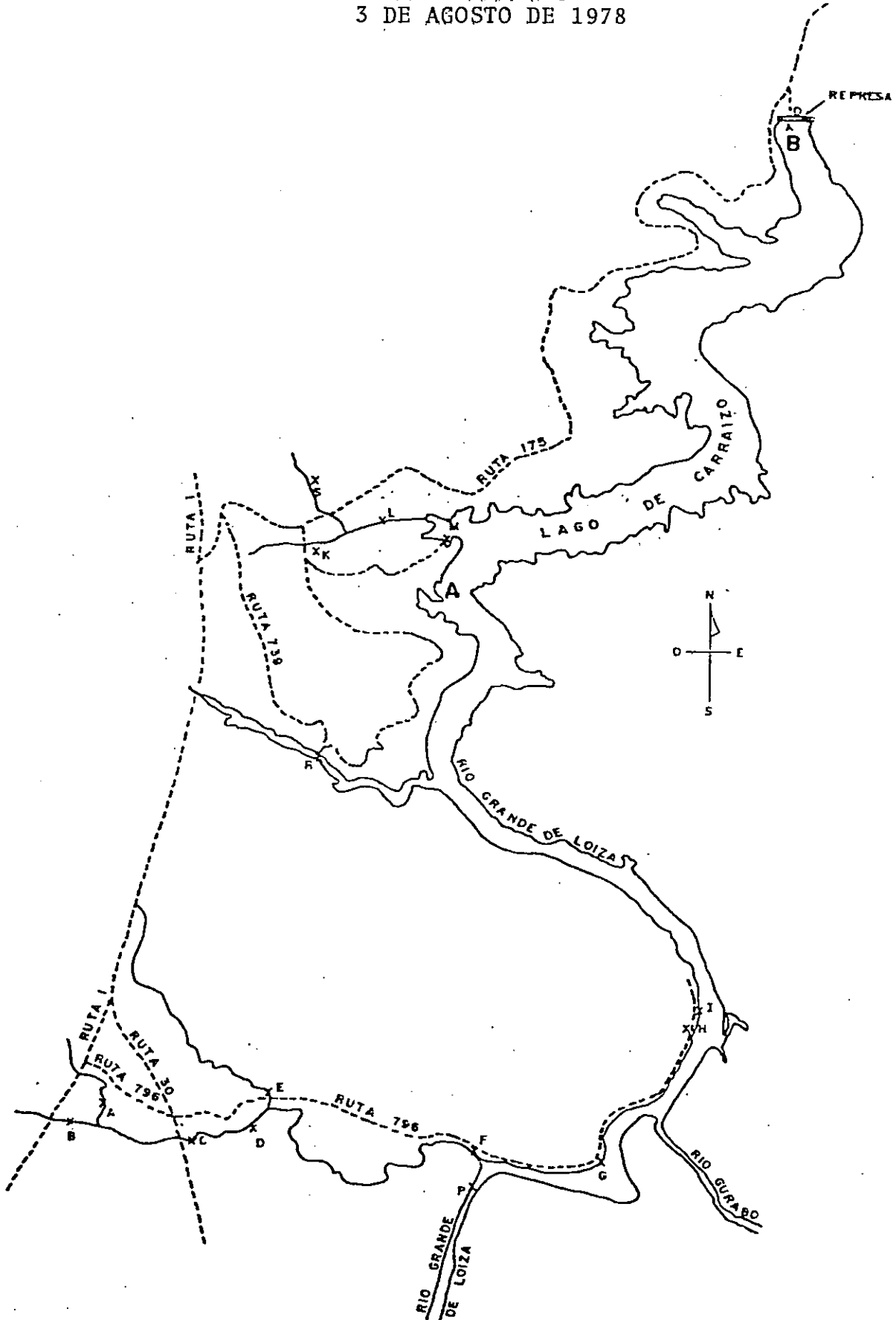
8 Idem.

9 El metro superior tuvo un promedio de oxígeno, disuelto de 377Ppm (en el primer metro la producción de oxígeno debe ser de las menores en un lago de este tipo

10 Relationship Between the Population Dinamics and Environmental Water Quality of Four Fishurries in Puerto Rico.

11 Idem.

POSICION DE ESTACIONES
LAGO CARRAIZO
3 DE AGOSTO DE 1978



La relación a que se debe una relación entre el oxígeno disuelto y eutroficación es que se necesita, en el caso del Lago Carraizo, un alto contenido de O_2 disuelto para la oxidación de materia orgánica u fosfatos y nitratos que están en gran cantidad. En la estación A localizada cerca de la desembocadura del Río Grande de Loíza el nivel de Oxígeno bajo más o menos uniforme con una recaída marcada de 6.5 metros hasta el fondo (7.5m) donde el nivel de O_2 se aproximó a cero pero tan bajo que es dudable la existencia de vida animal a esta profundidad. Mientras en la estación B localizada cerca de la represa (al extremo norte del lago la recaída de O_2 es mucho más profunda de 10.5 m hasta el fondo (15m) donde estaba en 0Ppm Mg/l) indicando así que en la profundidad no existe oxígeno disuelto para el consumo heterotrófico.

Este tan bajo contenido en O_2 se debe a la gran cantidad de materia orgánica que hay para la descomposición en los lagos que sufren la eutroficación cultural en este caso esta es mayormente causada por la alta descarga de aguas negras (ap. 5.0×10^6 gal.). La cantidad de fosfatos que contienen estas aguas también es muy alta, esto crea una gran inestabilidad en el sistema acuático, pues al subir la cantidad de fosfatos aumentará la cantidad de nutrientes disponibles para las algas que en días oscuros consumirán una gran cantidad de O_2 como parte de la respiración autotrófica. El día en que se tomaron los resultados (Tabla 3) tomados el día 3 de agosto deben haber estado influenciados por la oscuridad pues era un día nublado-oscuro y esto influye en el consumo del O_2 disuelto en las aguas.

LAGO DOS BOCAS

El Lago Dos Bocas es uno de los lagos artificiales mas grandes de la isla, esta localizado entre Arecibo y Utuado con los barrios Sabana Hoyos (noreste), Río Arriba (noroeste) Don Alonso (sureste) y Sábana Grande (Suroeste) (altura sobre el nivel del mar 89.9m). Sus mayores tributarios son el Río Limon (este) el Río Caonilla (sureste). La boca de salida de este lago es el Río Arriba que desemboca al norte en el Océano Atlántico, es por esto un ecosistema abierto. El lago antes de vertir sus aguas en el Río Arriba estas pasan por Turbinas hidroeléctricas que con el movimiento oxigenan las aguas de dicho río.

Descripción del Lago

El Lago Dos Bocas es de amplia vegetación (árboles y hierba que por el cambio de nivel de este intercambian una gran cantidad de biomasa y energía (esta cantidad de vegetación es menor que en el Lago Patillas). En este lago navegan un alto numero de Lanchas públicas que cruzan de un embarcadero al nor-este hasta los barrios adyacentes (Limon, Río Arriba, Don Alonso).

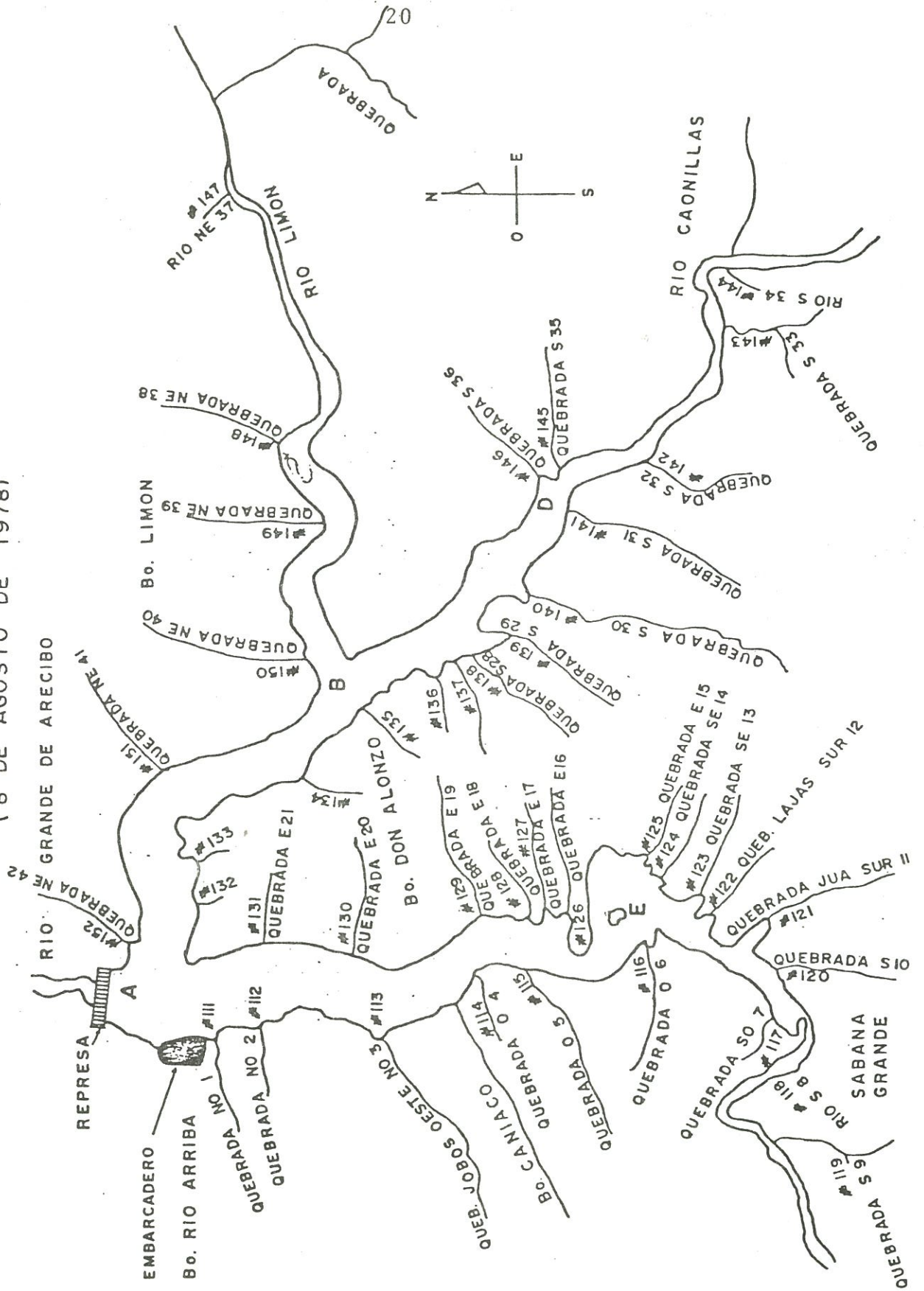
Descripción de Estaciones

La prueba tomada en nuestro viaje a este lago fue la de distribución vertical de oxígeno. Los datos obtenidos son de 4 estaciones que llamamos A, B, D, E, localizadas en puntos estratégicos de este lago. La A la localizamos en la represa por considerar que la profundidad era de las mayores del lago que el chequeo con el dique y la caída de agua contribuyen a la oxigenación de estas, la B en la entrada de aguas corrientes del Río Limón, pues es de gran importancia las aguas oxigenadas frías



LAGO DOS BOCAS

POSICION DE ESTACIONES
 LAGO DOS BOCAS-ARE-CIBO
 (8 DE AGOSTO DE 1978)



que trae este río tributario para la vida de organismos de este lago (Los Tributarios son parte de la cuenca y en un estudio de un ecosistema hay que considerarlo en su margen mayor pues el tributario contribuye con materia y energía en flujo. La estación D la localizamos en otra desembocadura, la del Río Caonilla por la misma razón que la anterior. La última estación E se puso en la parte donde mayor número de quebradas pequeñas contribuyen con las corrientes de este lago y a la vez con el oxígeno que estas traen pues sus aguas llanas traen gran cantidad de nutrientes y oxígeno.

Resultados y conclusiones

Los resultados demuestran que en la entrada de ese número de quebradas (Q. Jobos, Q. 05, Q. 06, Q. SOF, Q. E, 19, Q. Laja sur y otras) la temperatura de el agua en la estación E en su fondo tuvo una diferencia de 2.40 C (30.9° arriba-28.5 fondo) con la de la capa superior. La cantidad de O₂ en el fondo de donde se puso esta estación (4.8m) era de 4.8Ppm una cantidad considerable para la existencia de peces y otros organismo aerobios. Esto puede deberse a el intercambio de aguas de la superficie con el fondo causado por la diferencia en temperatura de las aguas del río Arecibo llegan frías y oxigenadas por el choque con la piedra de sus orillas (oxigenación artificial) y a menor temperatura las aguas sombreadas del Río Arecibo entran al lago y por diferencia en temperatura ocasionan una corriente de circulación quedando las frías abajo y las calientes arriba; a esto contribuye el calor del sol sobre agua de menor movimiento como lo son las del lago en comparación.

La otra estación que muestra un irregularidad en sus resultados es la B localizada en la confluencia de los rios Caonilla y Limón. Estas aguas no decaen en su nivel de O_2 en una forma constante; esto se debe a la contribución con aguas oxigenadas de parte de estos dos ríos, que al entrar los dos (juntos, unas aguas se mantienen arriba otras bajan desplazando las de abajo menos oxigenadas y da como resultado aguas con un patrón irregular en su oxigenación. Ejemplo de esto es un contenido de 0.0 Fpm de O_2 disuelto a una profundidad de 12 m y luego un aumento de 2.0 a una mayor profundidad de 15m. La estación A y D muestran un nivel mas constante de decrecimiento en el nivel de oxígeno causado por los factores explicados en la introducción.

LAGO GUAJATACA

El Lago Guajataca fue construido en 1924 en la parte noreste de Puerto Rico, en el pueblo de San Sebastián a 29.4 Kms de San Juan. Es usado para irrigación y uso doméstico. Lleno tiene un nivel de 197 m sobre el nivel del mar, tiene un área superficial de 404.9 ha. y un volumen de $39.8 \times 10^6 \text{ M}^3$. Su único tributario grande es el Río Guajataca al sur del lago y algunas quebradas pequeñas que desembocan allí (indicadas en el mapa que incluimos) pero algunas de ellas están secas en la época de sequía. También obtiene parte de su agua de una precipitación anual de 110 cms.¹²

Descripción de Estaciones

El trabajo incluye tres pruebas hechas en tres estaciones que llamamos A, C, E, localizadas en partes de importancia para considerar el lago como un conjunto. La A la localizamos en la represa que da al canal de Guajataca por considerar que esta es la forma en que el ecosistema se abre al exterior. La C la localizamos en la entrada de su tributario y la E en medio del lago para comparar como el oxígeno baja según viaja el agua del río al lago en su primer metro.

Este lago por su aspecto exterior y su transparencia podemos decir que es uno de aguas muy limpias y de baja cantidad de materia orgánica y bajo contenido en nutrientes como fosfatos y nitratos.

¹² Pruebas hechas con el disco de Secchi en Agosto/77 muestran esto: L. Guajataca 2.16m, L. Patillas 1.84 (19 y 20 julio/78), L. Dos Bocas 122 m y por último L. Carraizo 0.65 m.

LAGO GUAJATACA

El Lago Guajataca fue construido en 1924 en la parte noreste de Puerto Rico, en el pueblo de San Sebastián a 29.4 Kms de San Juan. Es usado para irrigación y uso doméstico. Lleno tiene un nivel de 197 m sobre el nivel del mar, tiene un área superficial de 404.9 ha. y un volumen de $39.8 \times 10^6 \text{ m}^3$. Su único tributario grande es el Río Guajataca al sur del lago y algunas quebradas pequeñas que desembocan allí (indicadas en el mapa que incluimos) pero algunas de ellas estan secas en la época de sequía. También obtiene parte de su agua de una precipitación anual de 110 cms.¹²

Descripción de Estaciones

El trabajo incluye tres pruebas hechas en tres estaciones que llamamos A, C, E, localizadas en partes de importancia para considerar el lago como un conjunto. La A la localizamos en la represa que da al canal de Guajataca por considerar que esta es la forma en que el ecosistema se abre al exterior. La C la localizamos en la entrada de su tributario y la E en medio del lago para comparar como el oxígeno baja según viaja el agua del río al lago en su primer metro.

Este lago por su aspecto exterior y su transparencia podemos decir que es uno de aguas muy limpias y de baja cantidad de materia orgánica y bajo contenido en nutrientes como fosfatos y nitratos.

¹² Pruebas hechas con el disco de Secchi en Agosto/77 muestran esto: L. Guajataca 2.16m, L. Patillas 1.84 (19 y 20 julio/78), L. Dos Bocas 122 m y por último L. Carraizo 0.65 m.



LOS LAGOS GRANDES TIENEN GRAN POTENCIAL PARA FINES RECREATIVOS

Del estudio de distribución vertical de oxígeno obtuvimos resultados que van de acuerdo con el contenido de oxígeno de un lago limpio y de gran transparencia. Por ejemplo un promedio de oxígeno disuelto de 10.5 mg/l (Ppm) en los primeros dos metros. Indicando un alto contenido de oxígeno, muy conveniente para la vida animal y para la reproducción de algunas especies que tienen que descender a niveles mas bajos que el primer metro para que sus huevos no se afecten por el sol. Este lago tiene un contenido de oxígeno apto para la vida animal a una profundidad promedio de 5 metros.

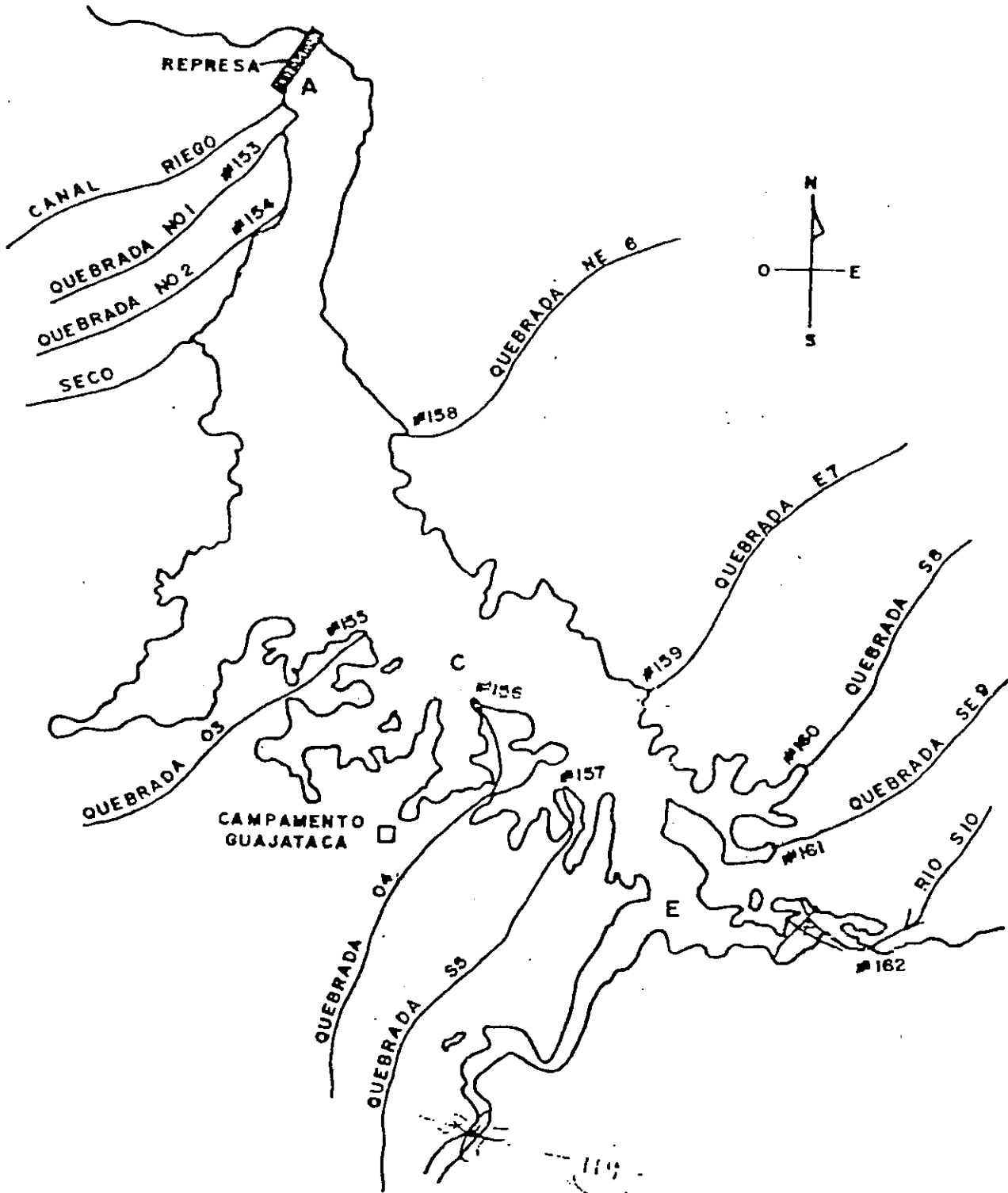
De los 4 lagos incluimos en este estudio de oxígeno disuelto el Lago Guajataca es el de mas oxígeno disuelto en su capa superior esto se debe en gran parte a que no existe focos de descarga de aguas contaminadas (negras) que viertan en este lago, lo contrario pasa con el Lago Carraízo que sufre descarga de aguas negras como habíamos mencionado de parte del Río Caguitas.

Respecto a la temperatura podríamos decir que hay una caída de 5°C entre la parte superior del lago y el fondo. Esto se debe a que su gran transparencia deja que la luz llegue y caliente los niveles superiores manteniéndolos a mayor temperatura mientras los niveles inferiores se mantienen fríos. A esto también se une la ausencia de muchas corrientes que a su vez causen un fluir cíclico del agua para que así haya un intercambio de agua de la superficie con el fondo. La ausencia de corriente se debe en gran parte a que el nivel del lago esta bastante bajo dado que el rio Guajataca, unico tributario, no esta bajando gran cantidad de agua y sus corrientes son muy debiles.

Si unimos este debel flujo de aguas tributadas al lago con su contenido de oxígeno disuelto llegamos a la conclusión de que este nivel de oxígeno en sus dos metros superiores será mayor en epoca de creciente ocasionado por la oxigenación artificial que sufrirán las aguas del Rio Guajataca en su trayectoria hacia la quietud del lago.

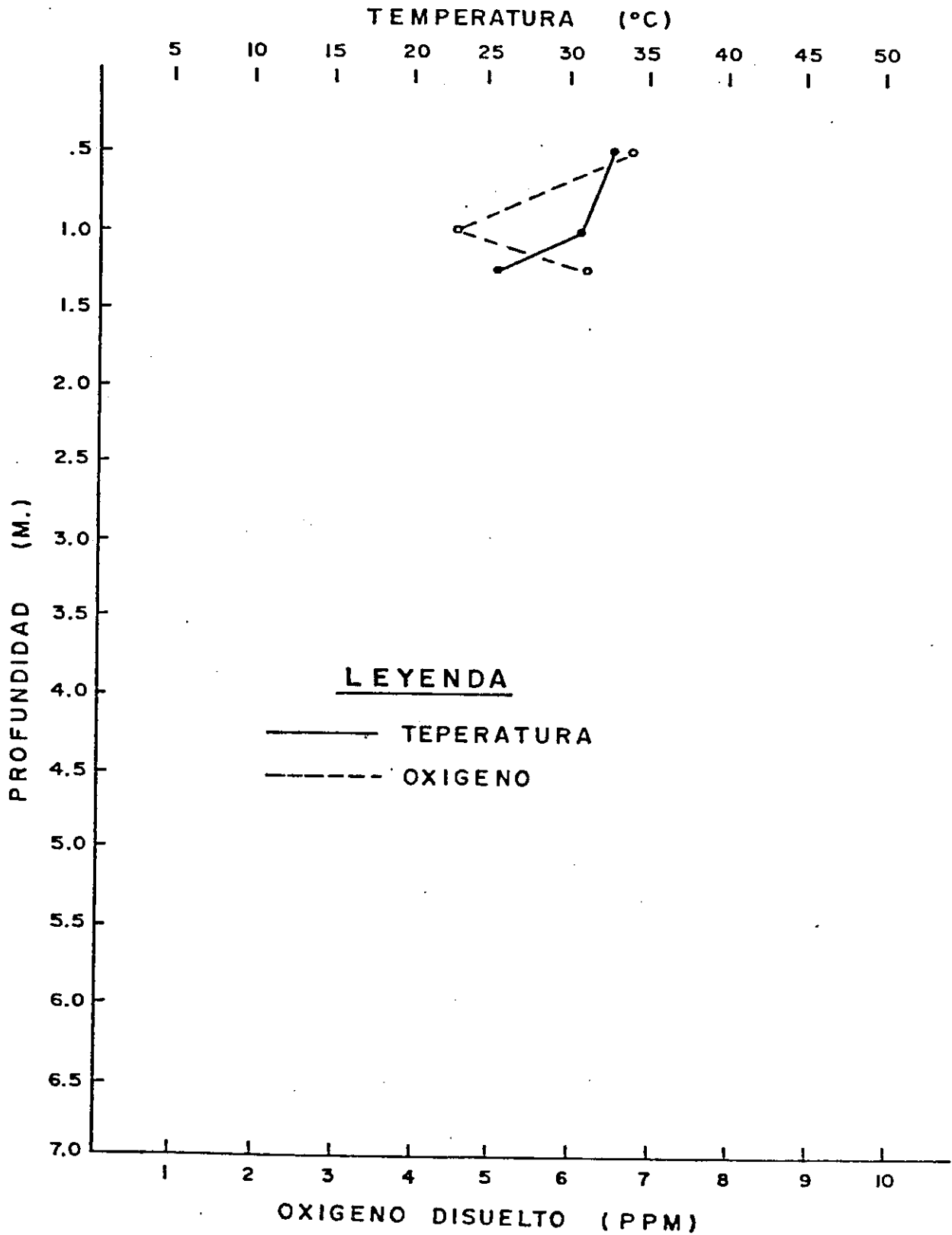
13 Estudios precedentes hechos por el Departamento de Recursos Naturales muestran que si hay un bajo contenido en fosfatos y nitratos $N = 0.003 \text{ mg/l}$ $P = 0.0009 \text{ mg/l}$ esto muestra que su apariencia se debe a la limpieza de sus aguas.

POSICION DE ESTACIONES
LAGO GUAJATACA
10 DE AGOSTO DE 1978

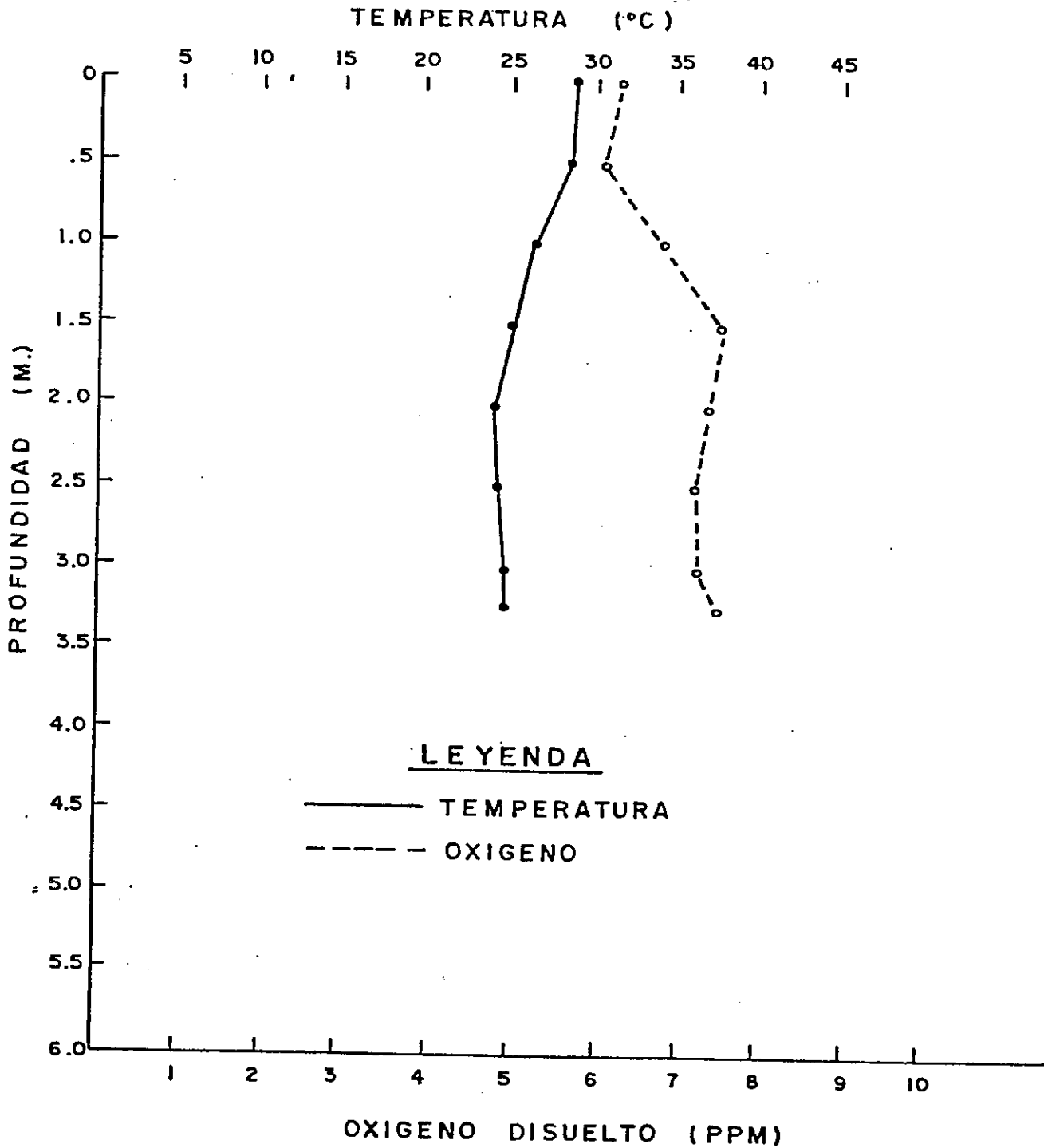


APENDICE 1

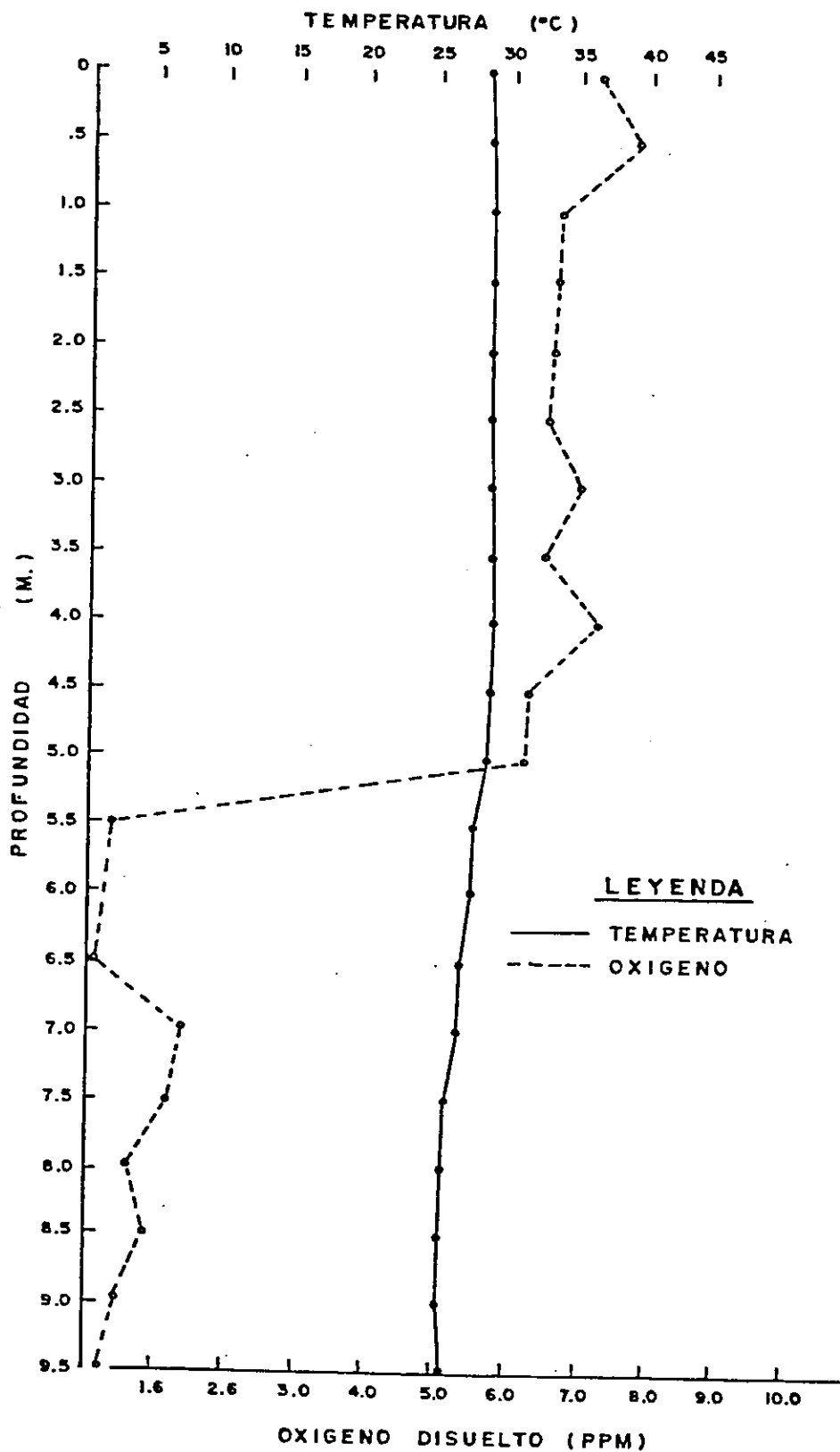
LAGO PATILLAS (ESTACIÓN-A)
 GRAFICA DE, OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
 DISTRIBUCIÓN VERTICAL (19 DE JULIO DE 1978)



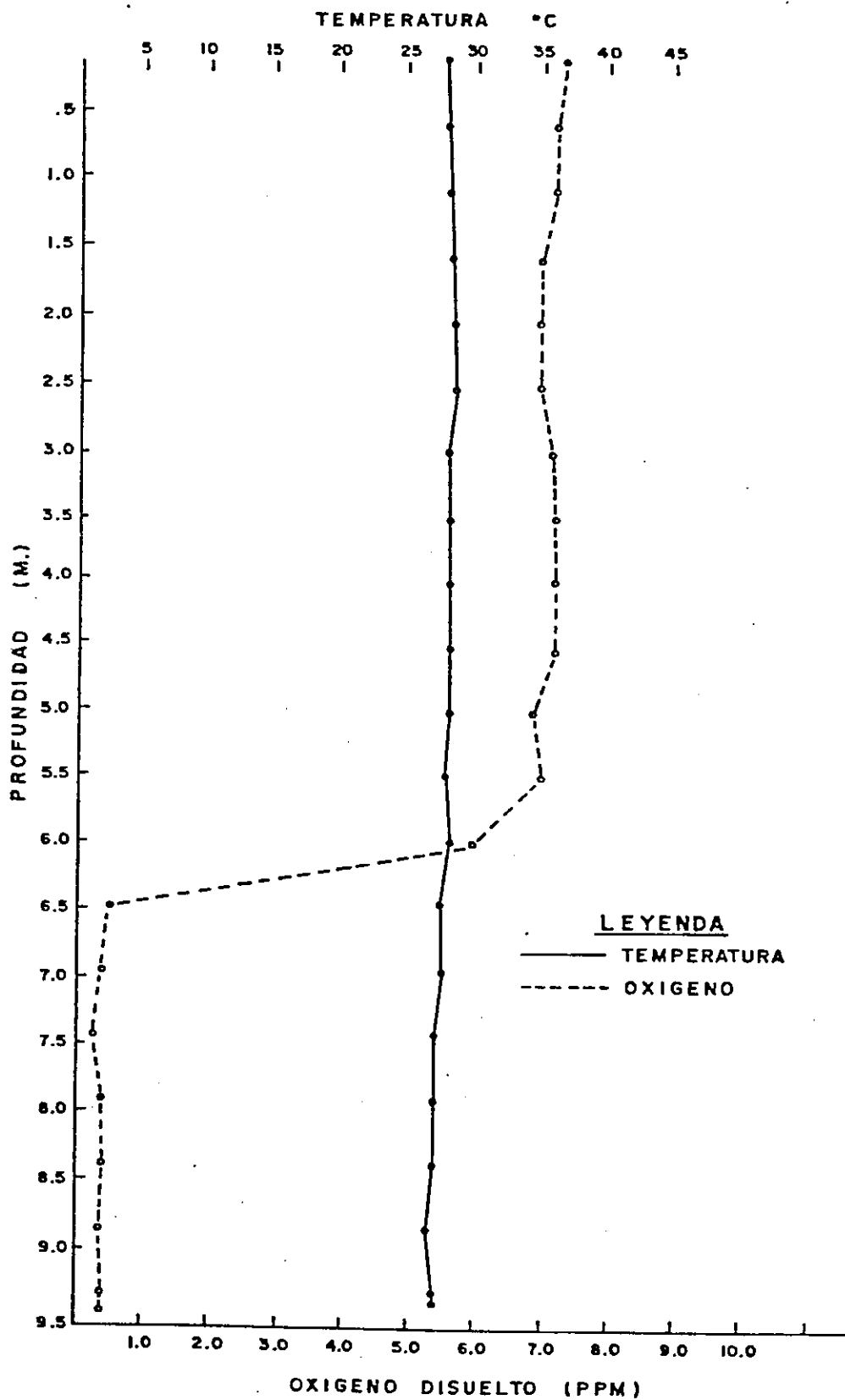
LAGO PATILLAS (ESTACION-A)
 GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
 DISTRIBUCIÓN VERTICAL (20 DE JULIO DE 1978)



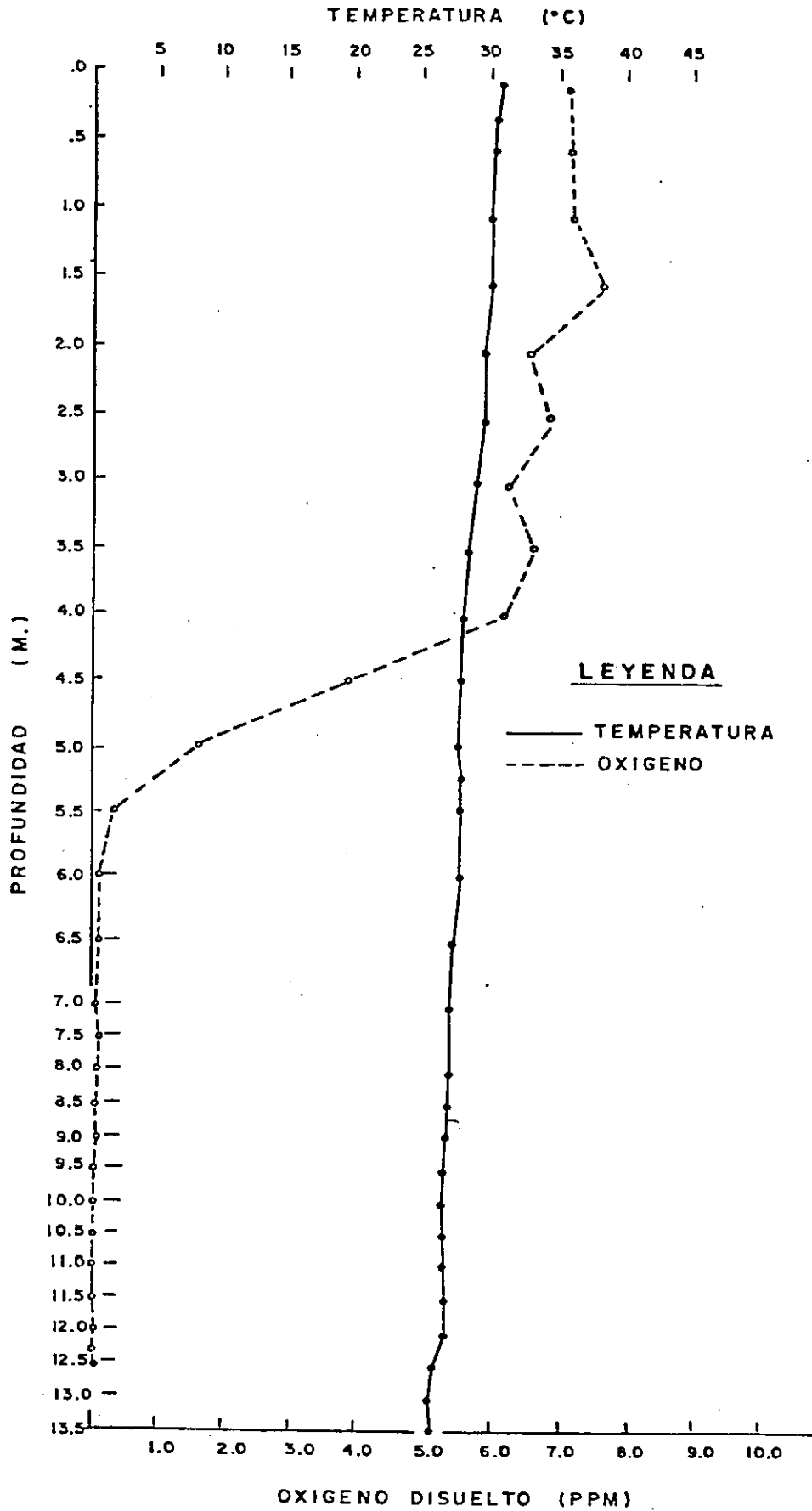
LAGO PATILLAS (ESTACIÓN-B)
 GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
 DISTRIBUCIÓN VERTICAL (19 DE JULIO DE 1978)



LAGO PATILLAS (ESTACIÓN-B)
 GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
 DISTRIBUCION VERTICAL (20 DE JULIO DE 1978)

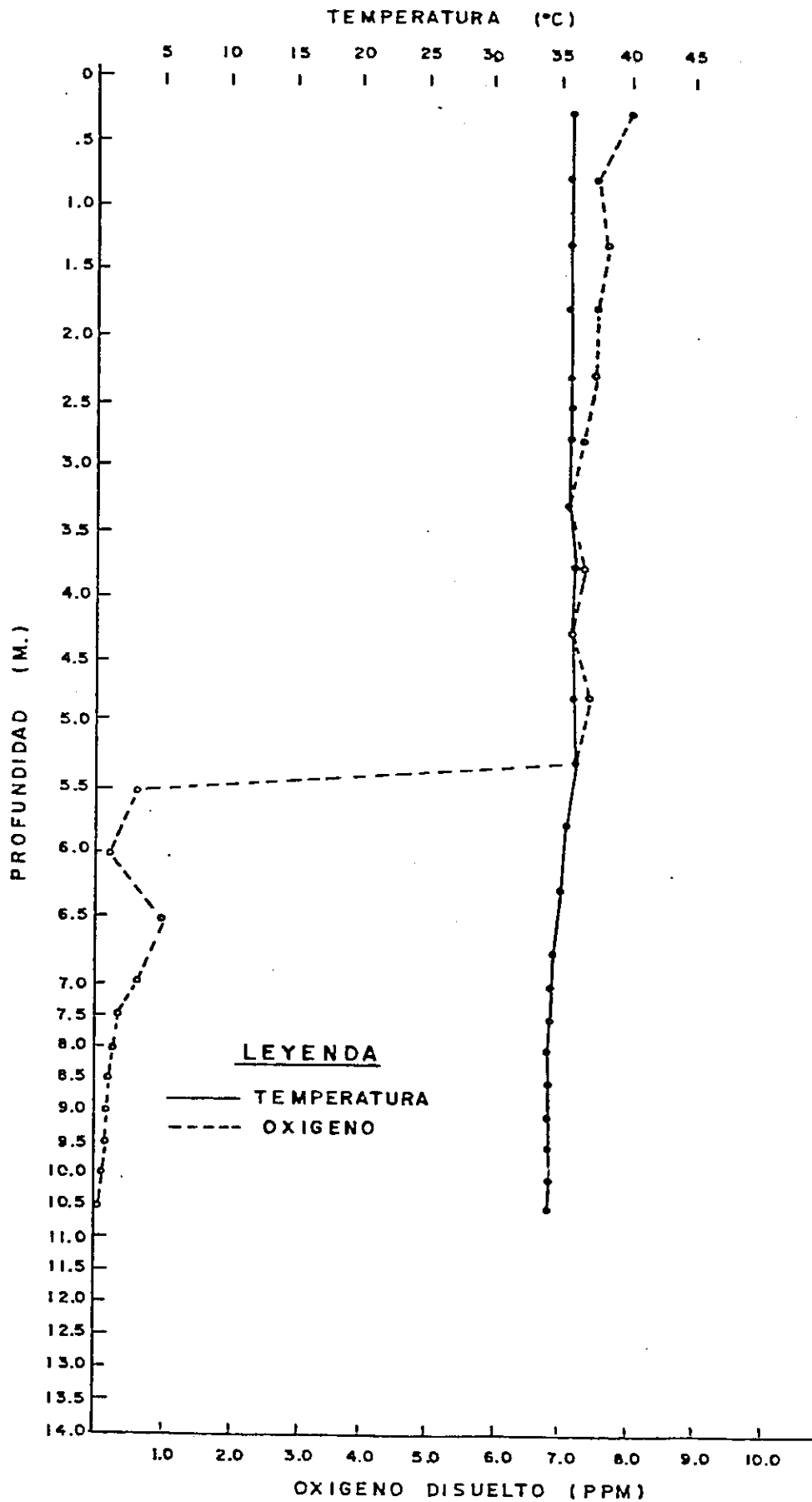


LAGO PATILLAS (ESTACION-C)
 GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
 DISTRIBUCION VERTICAL (19 DE JULIO DE 1978)



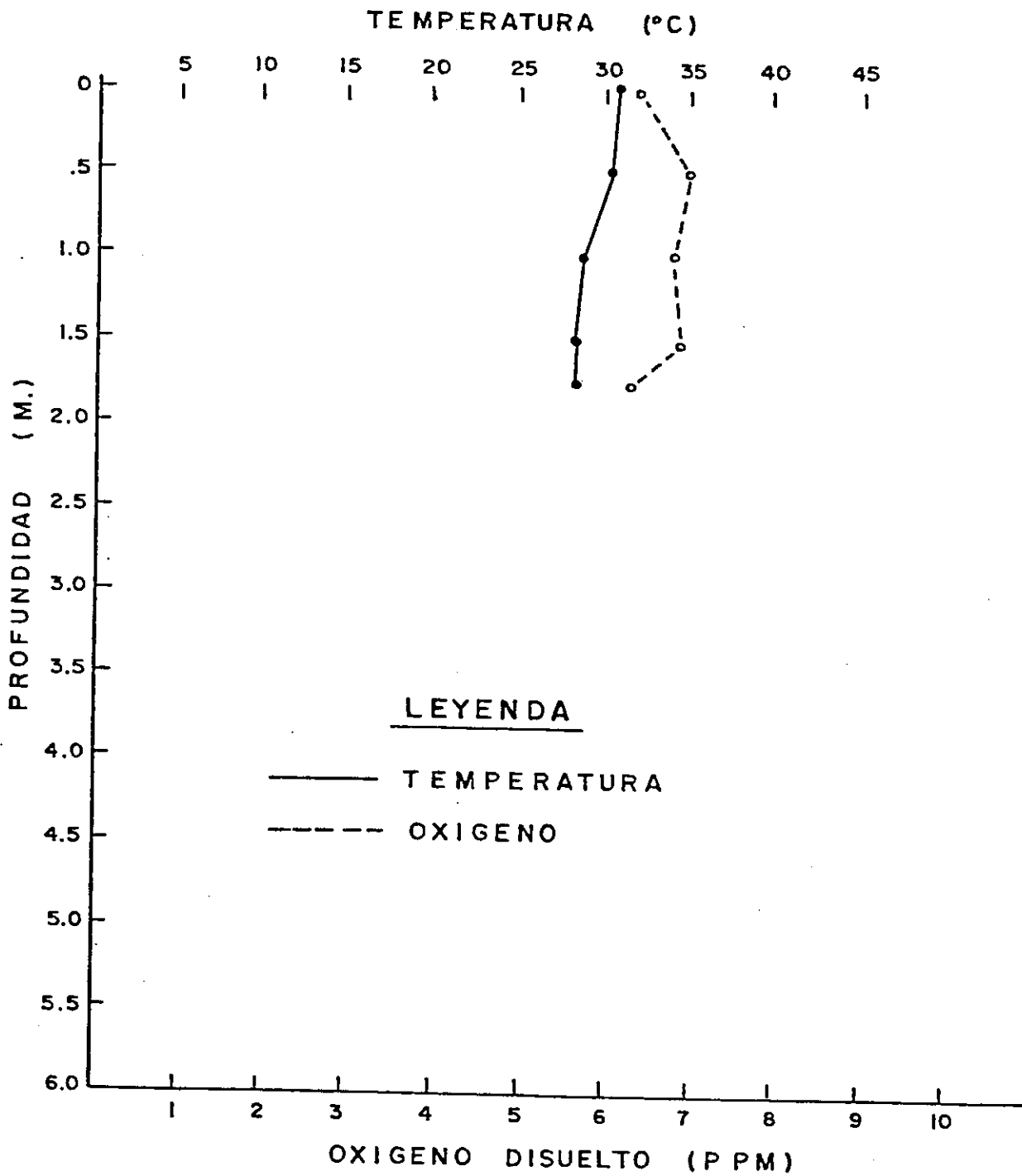
LAGO PATILLAS (ESTACION-C)

GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
DISTRIBUCIÓN VERTICAL (20 DE JULIO DE 1978)



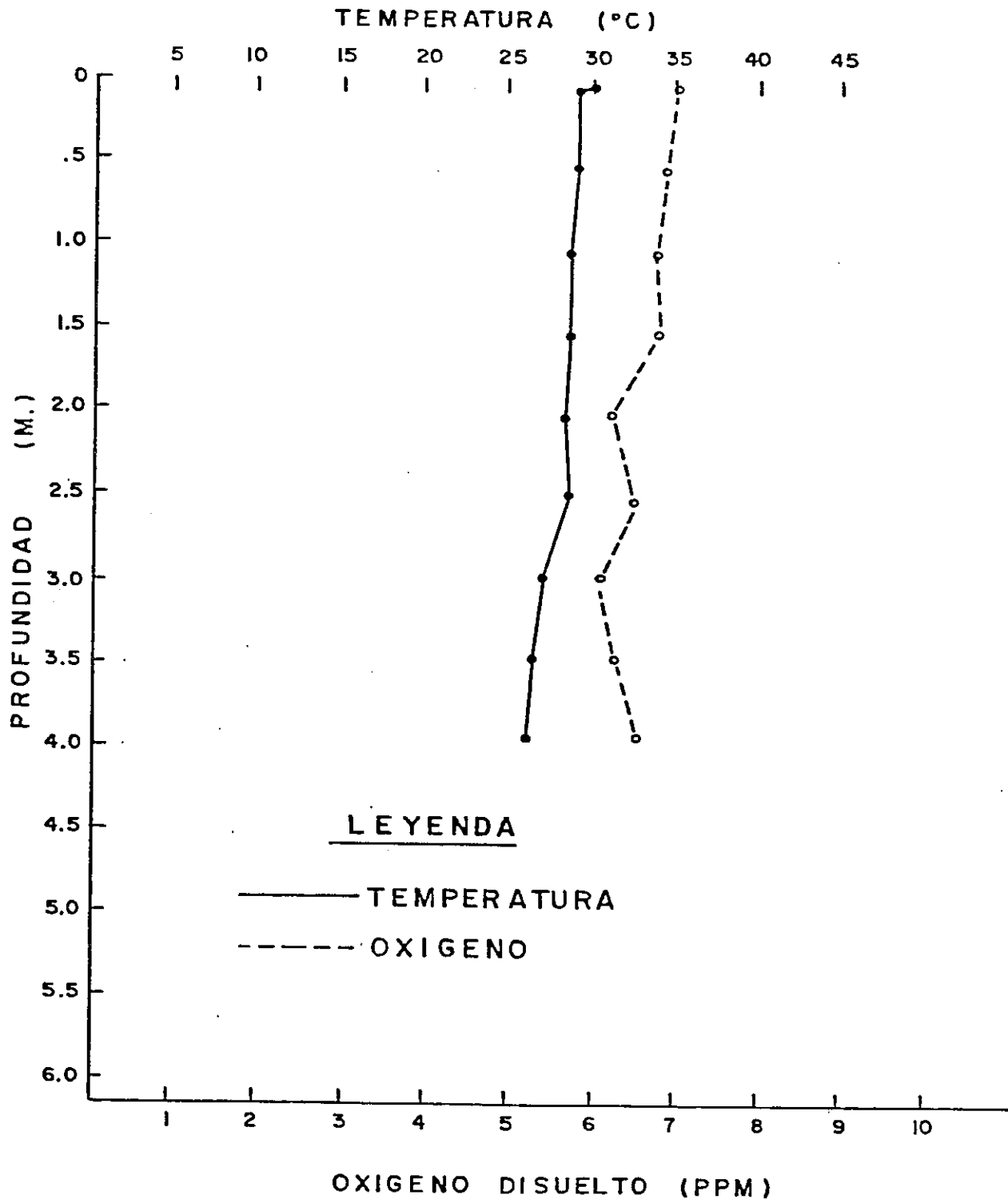
LAGO PATILLAS (ESTACIÓN-D)

GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
DISTRIBUCIÓN VERTICAL (19 DE JULIO DE 1978)

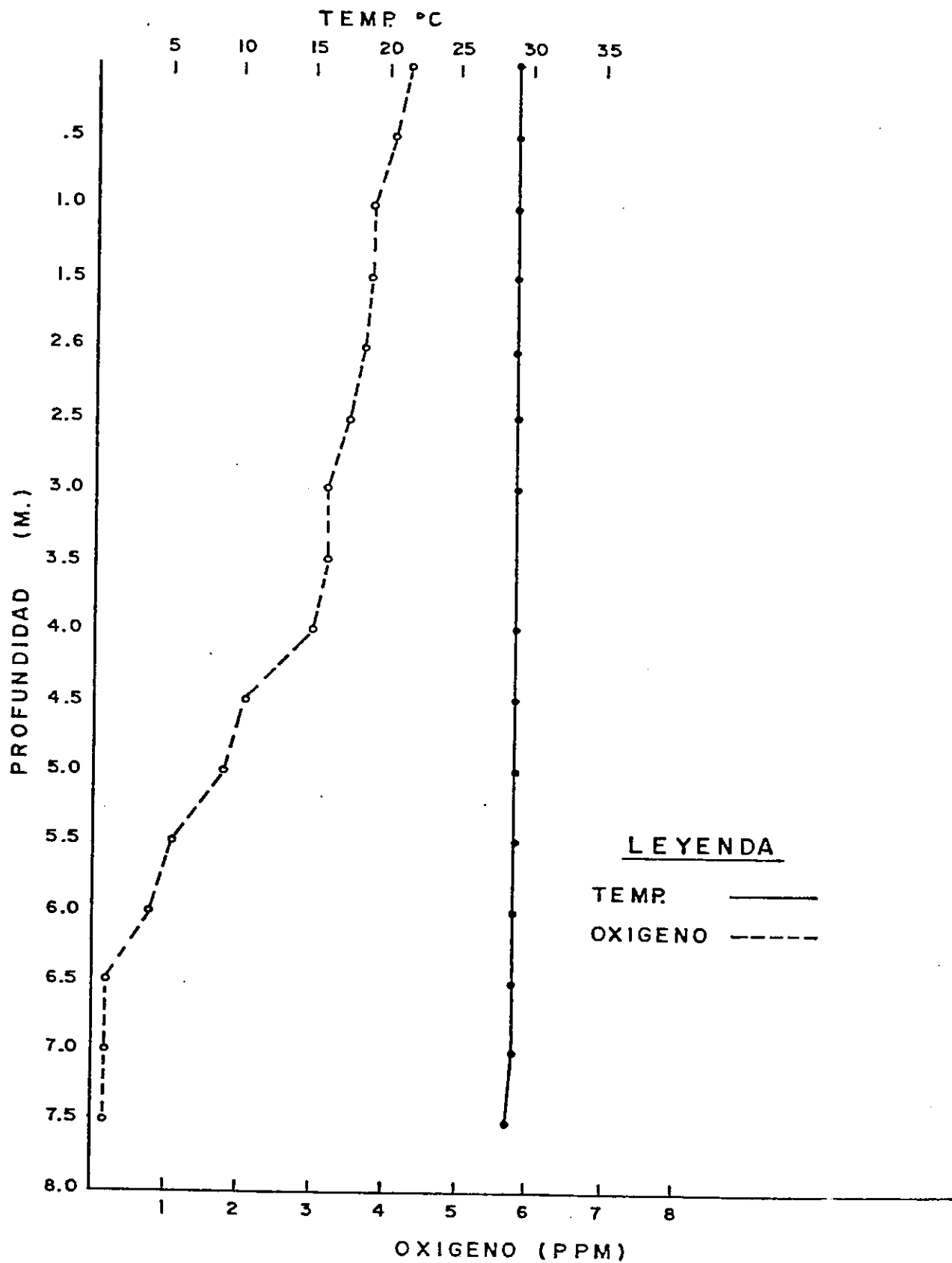


LAGO PATILLAS (ESTACIÓN-D)

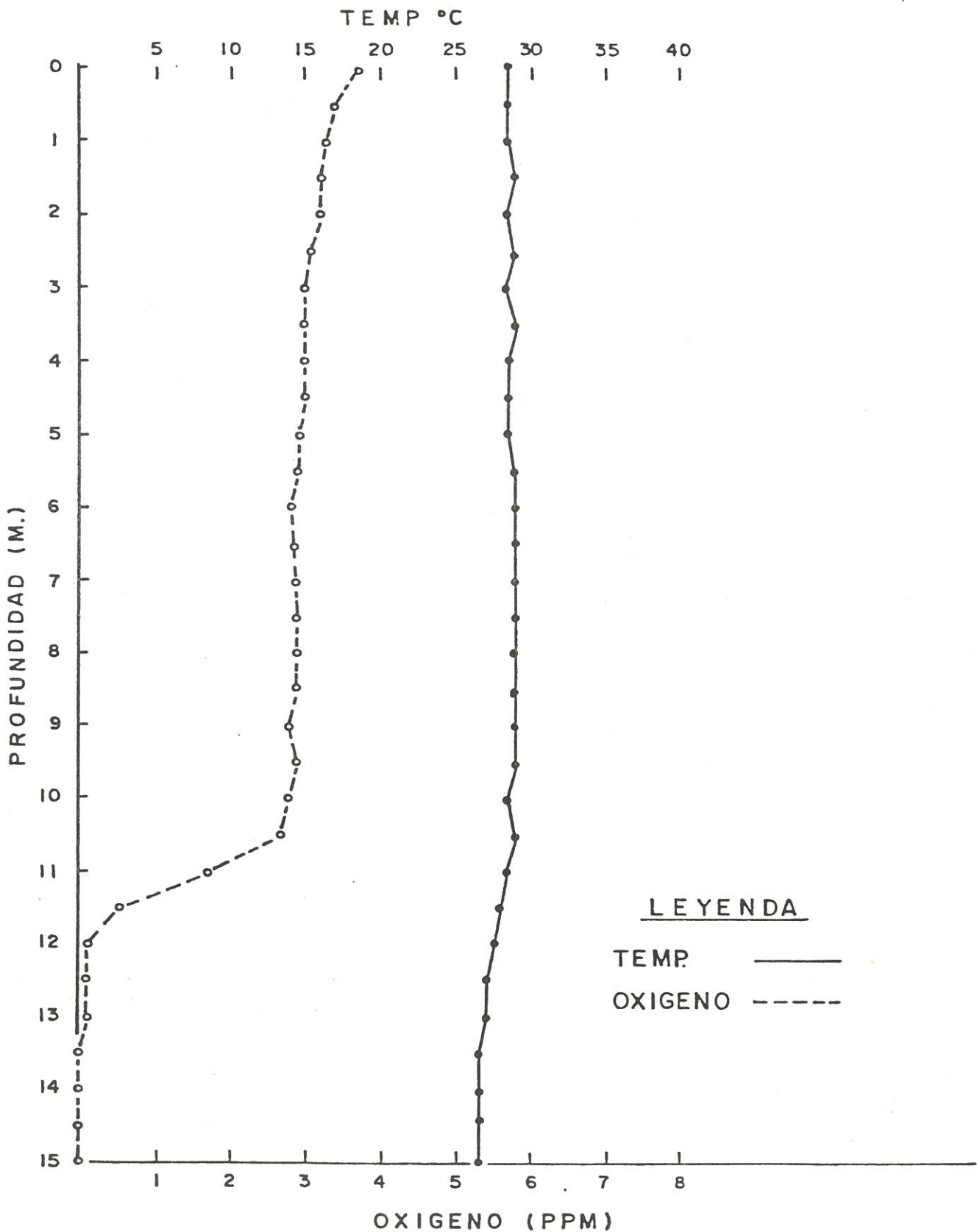
GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
DISTRIBUCION VERTICAL (20 DE JULIO DE 1978)



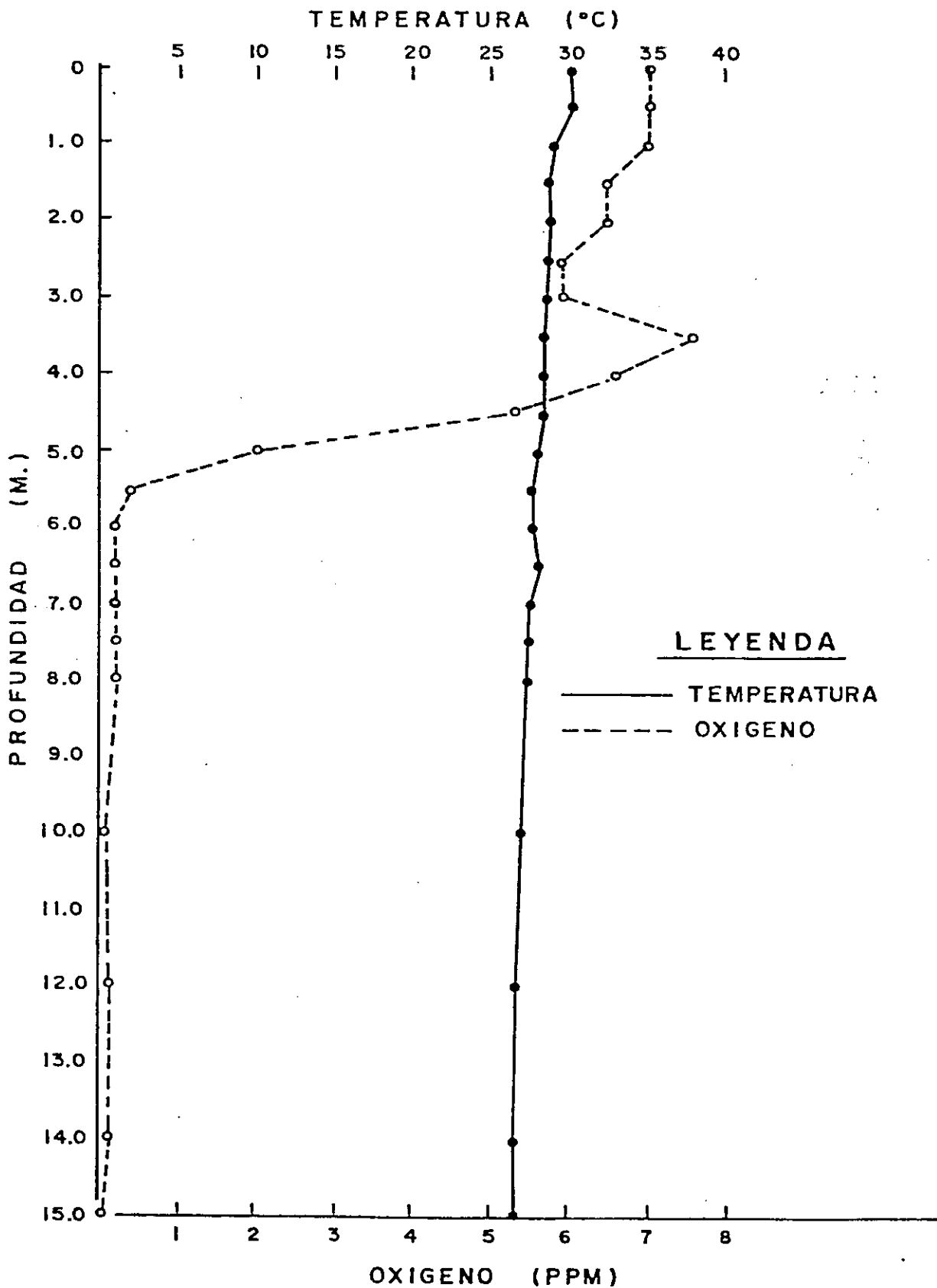
LAGO CARRAIZO ³⁷ (ESTACIÓN-A)
 GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
 DISTRIBUCIÓN VERTICAL (3 DE AGOSTO 1978)



GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
DISTRIBUCIÓN VERTICAL (3 DE AGOSTO 1978)

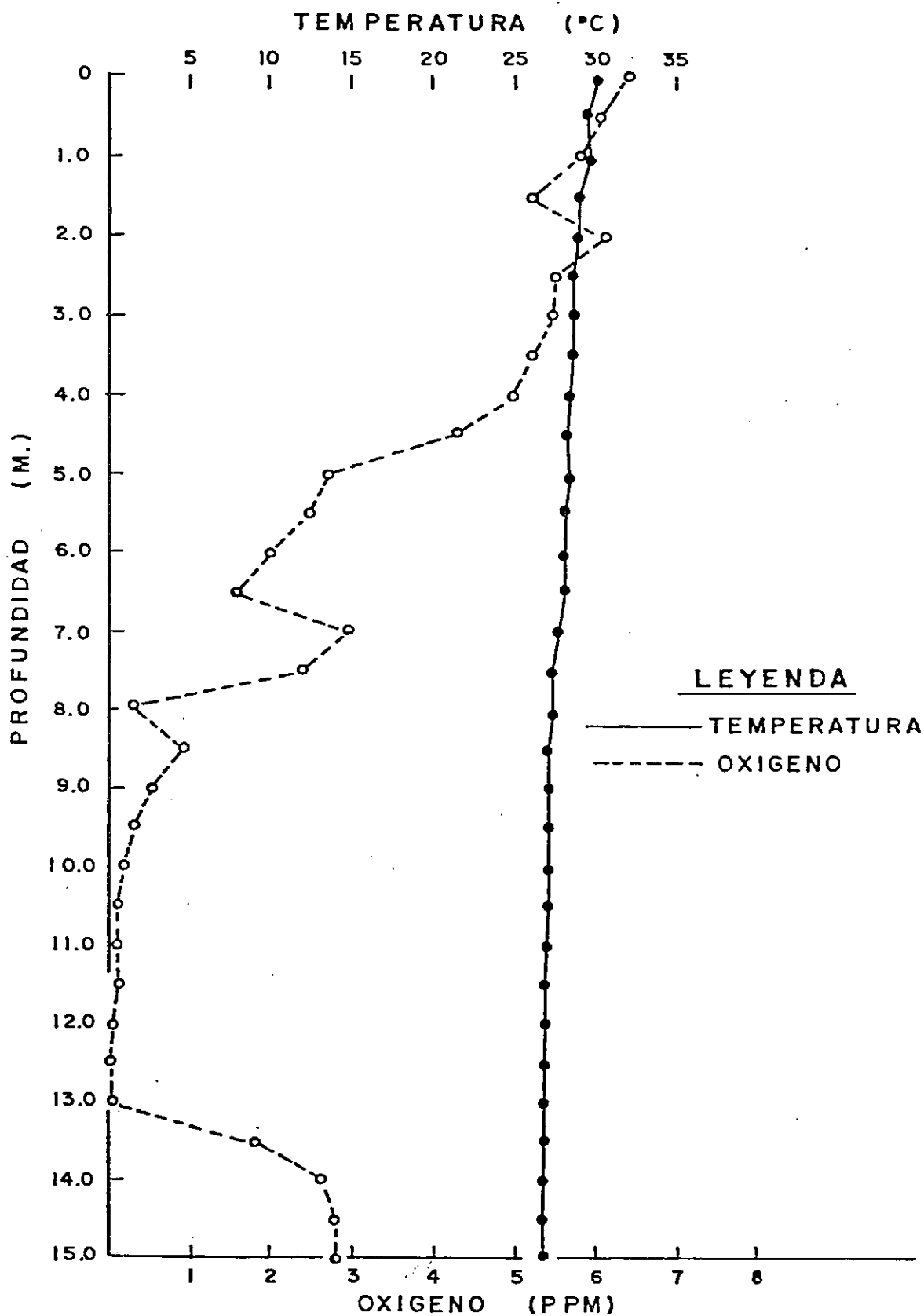


GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
DISTRIBUCIÓN VERTICAL ESTACION-A (8 DE AGOSTO DE 1978)

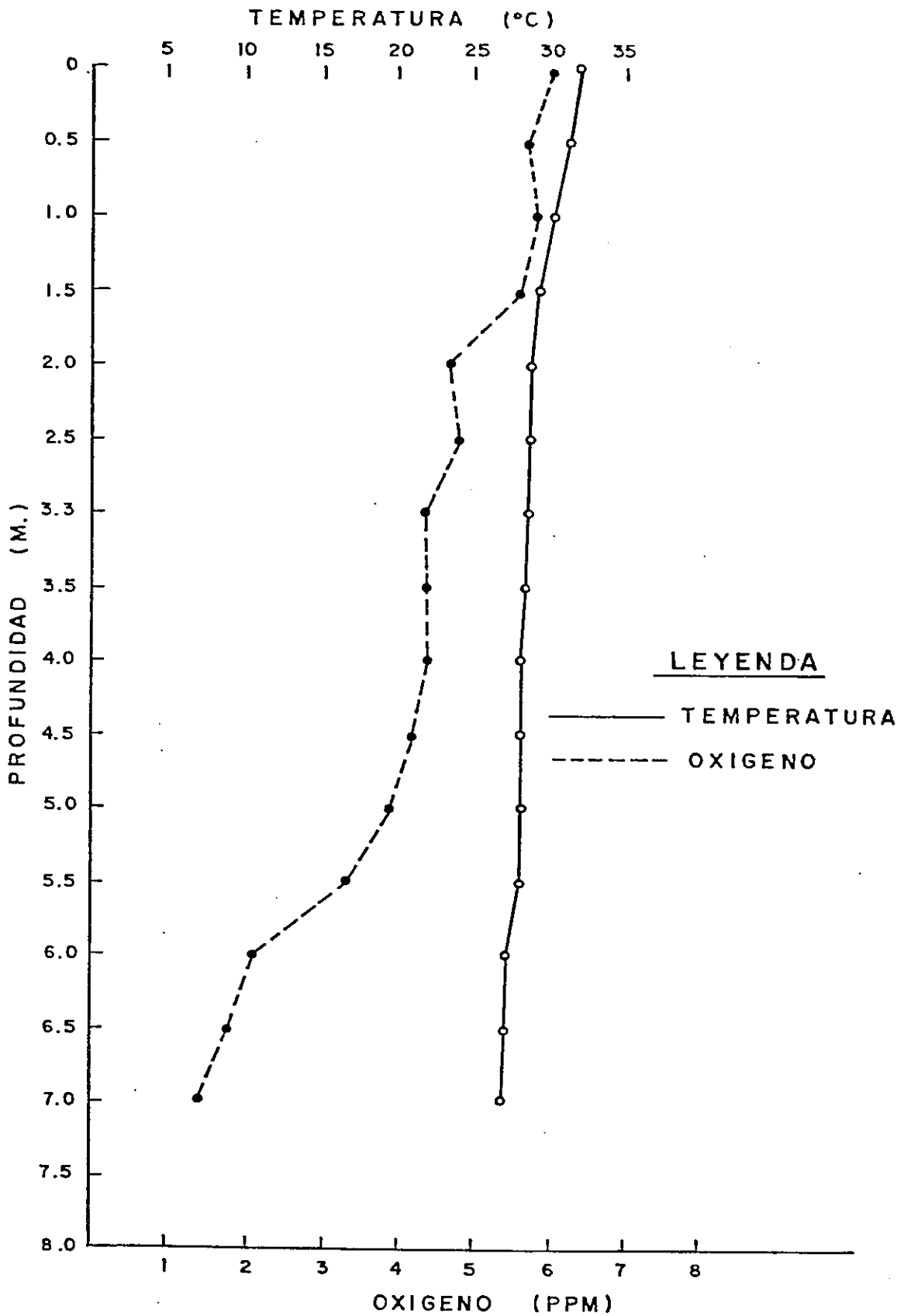


LAGO DOS BOCAS

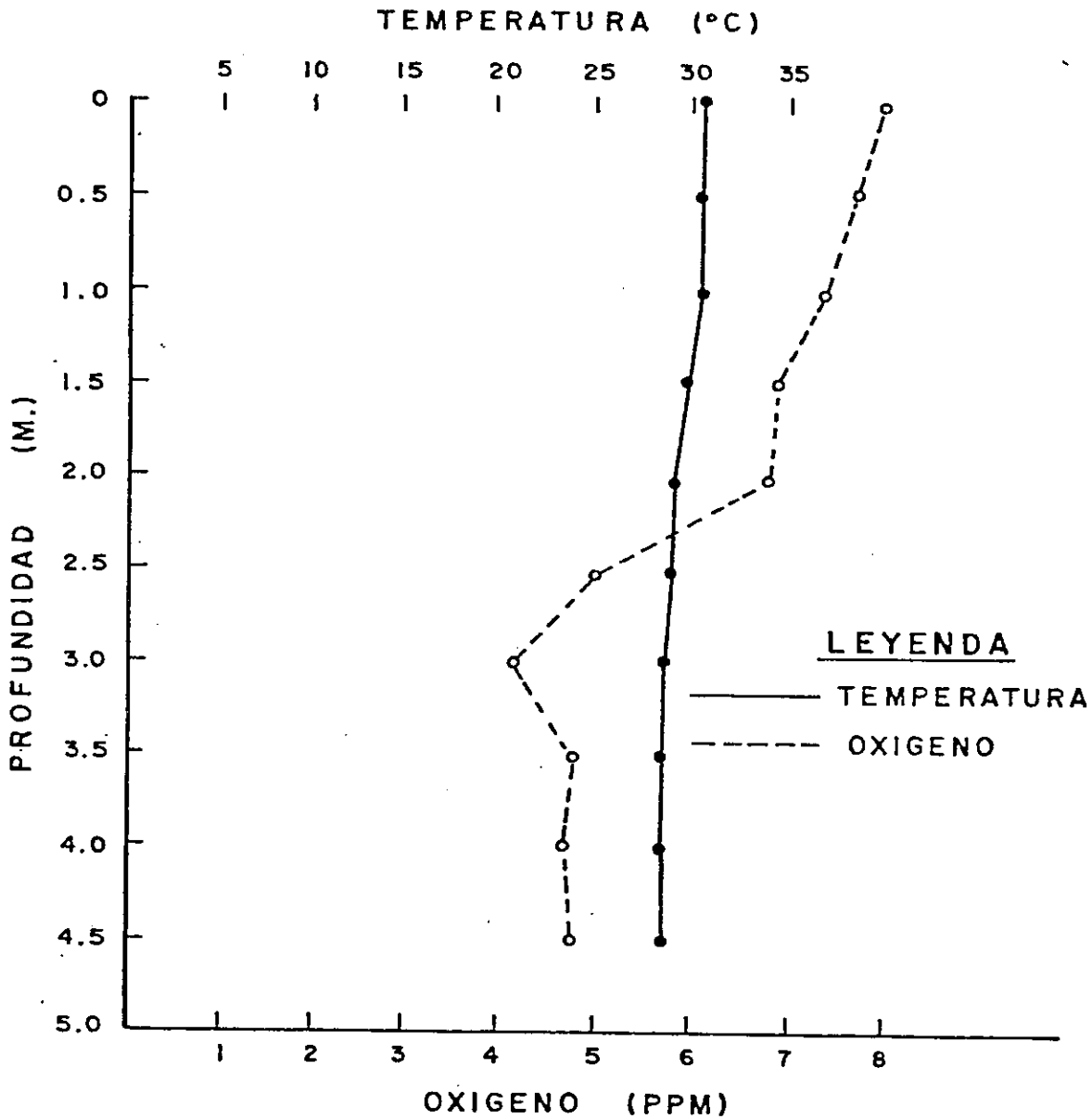
GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
DISTRIBUCIÓN VERTICAL ESTACIÓN-B (3 DE AGOSTO DE 1978)



41
GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
DISTRIBUCIÓN VERTICAL ESTACIÓN-D (8 DE AGOSTO DE 1978)

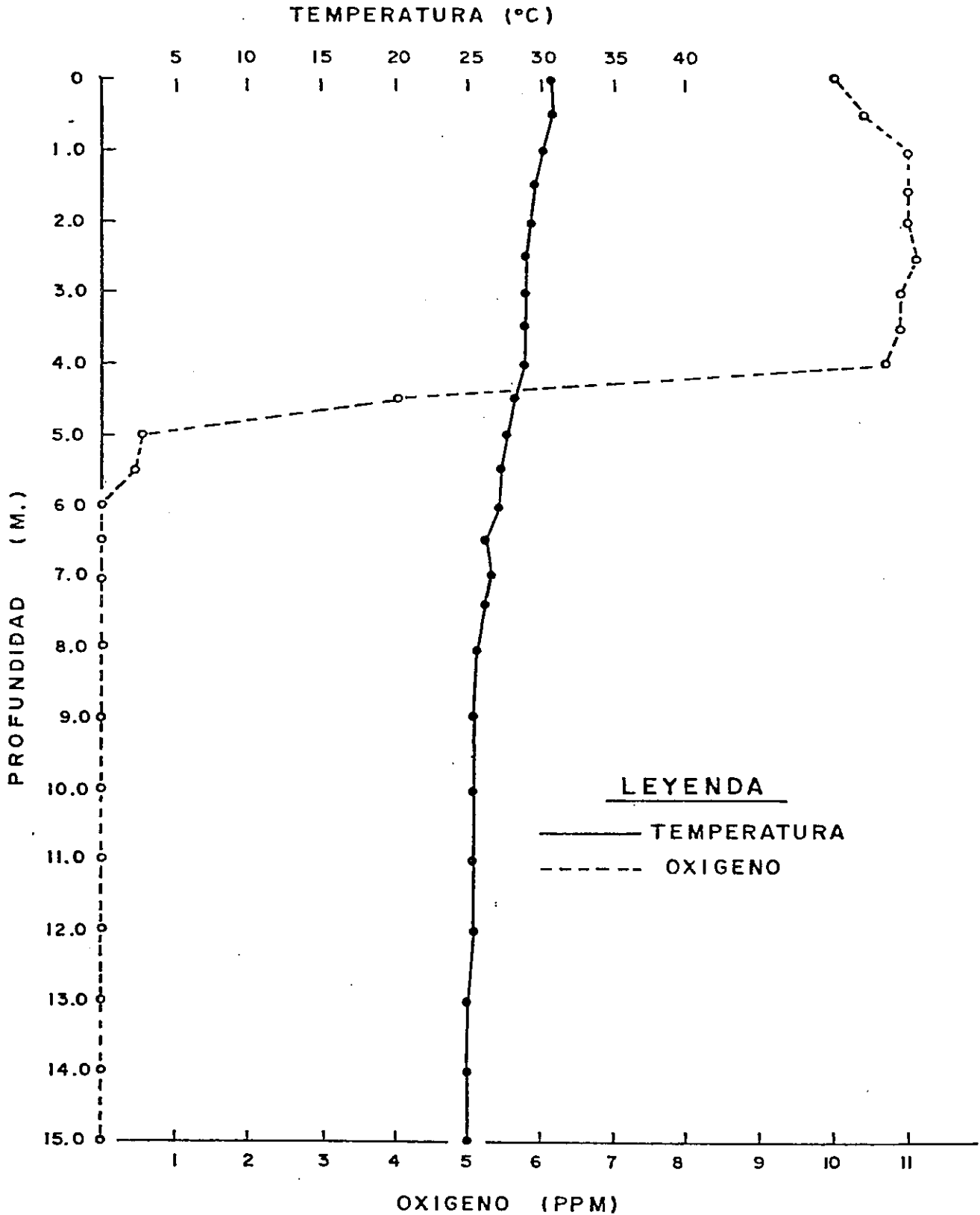


LAGO DOS BOCAS
 GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
 DISTRIBUCIÓN VERTICAL ESTACIÓN-E (8 DE AGOSTO DE 1978)

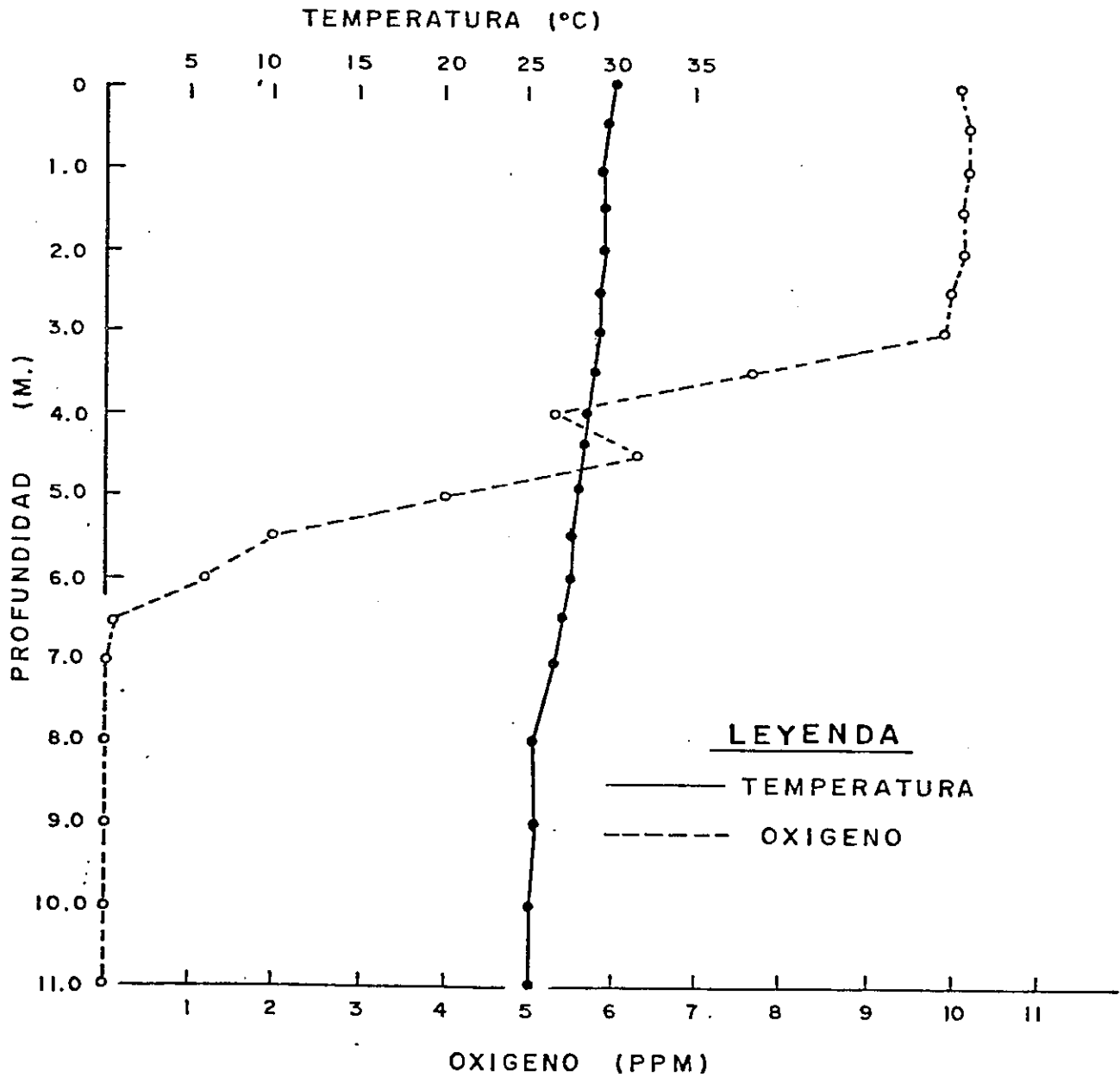


LAGO GUAJATACA

GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
DISTRIBUCIÓN VERTICAL ESTACIÓN-A (10 DE AGOSTO DE 1978)

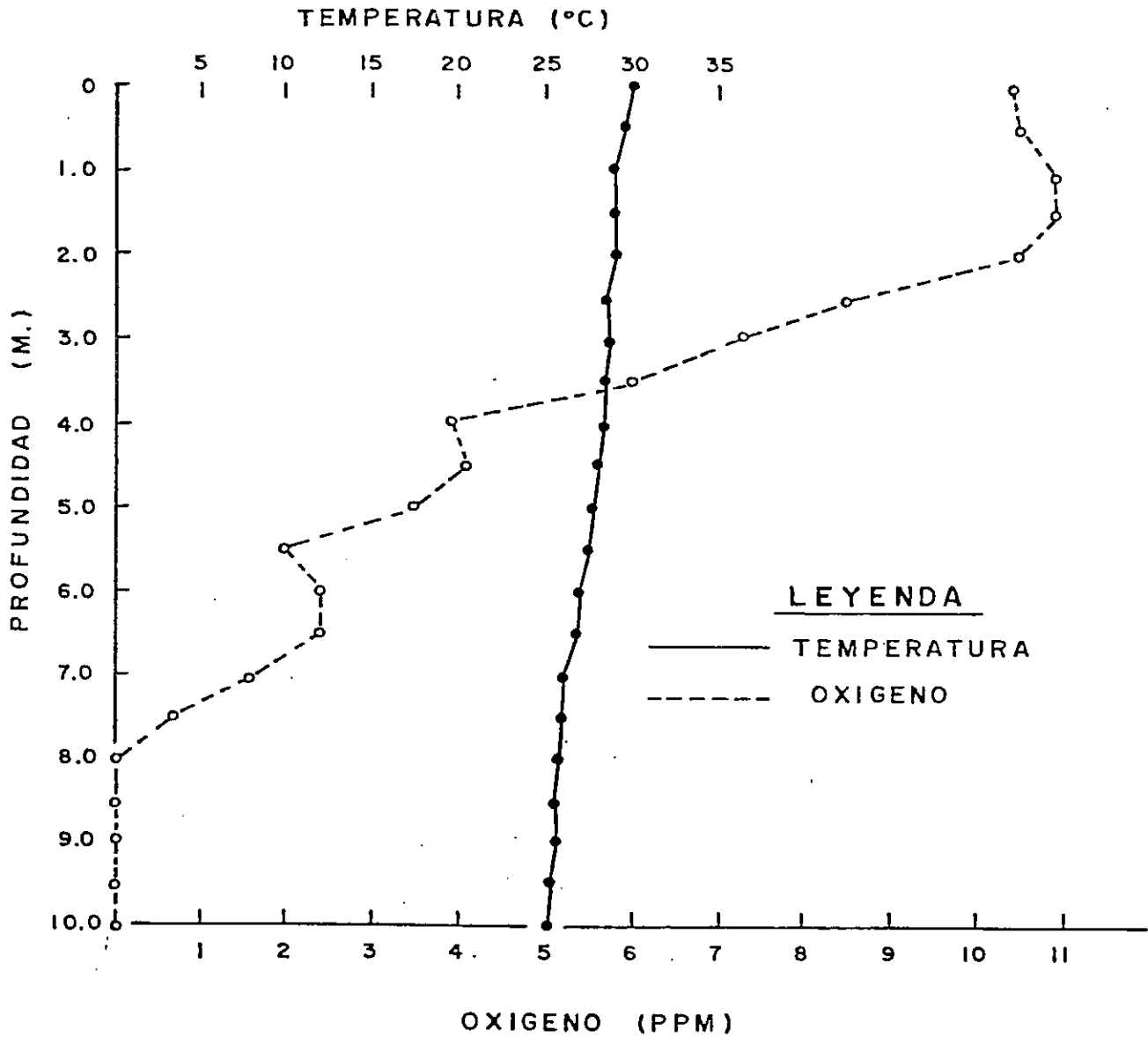


LAGO GUAJATACA
 GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
 DISTRIBUCIÓN VERTICAL ESTACIÓN-C (10 DE AGOSTO DE 1978)

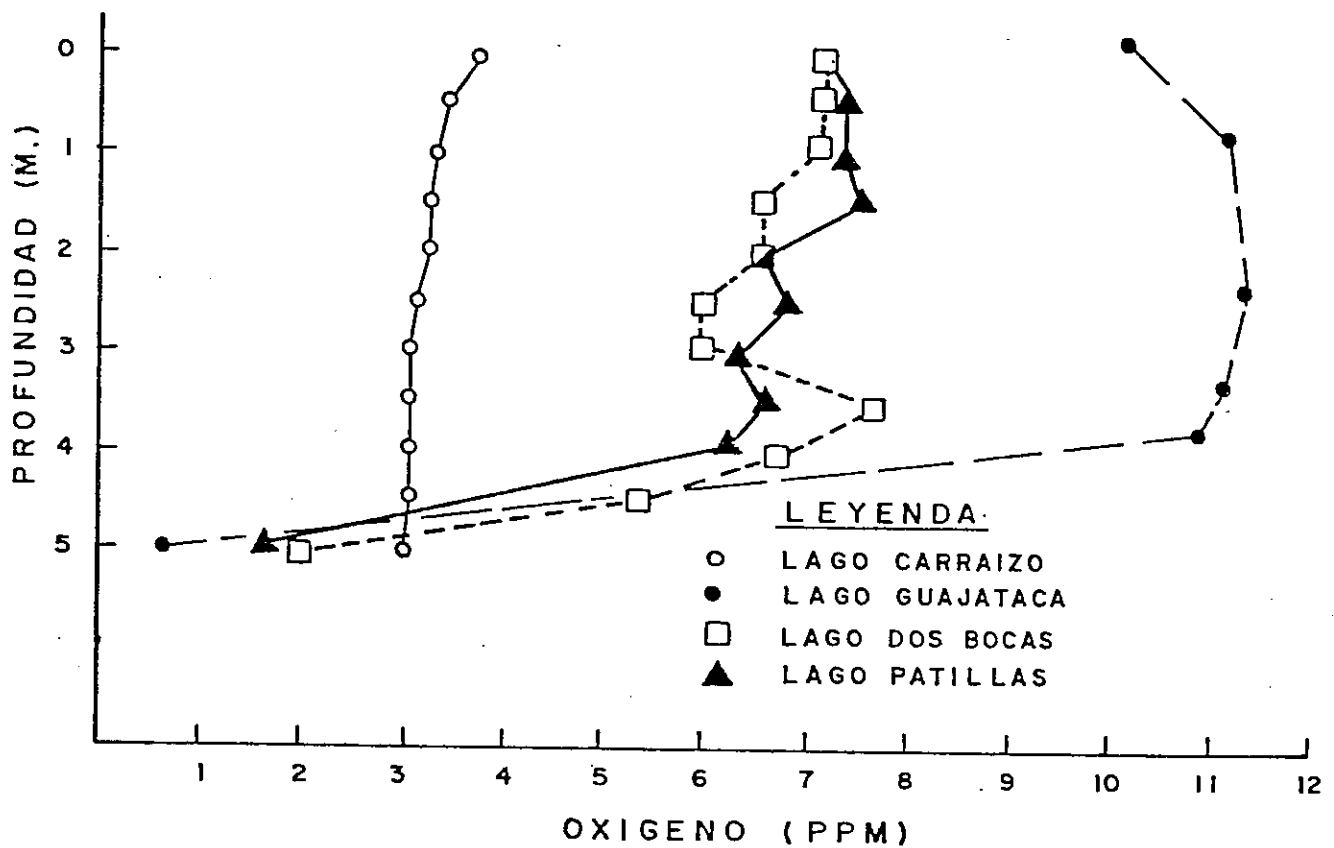


LAGO GUAJATACA

GRAFICA DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA
DISTRIBUCIÓN VERTICAL ESTACIÓN-E (10 DE AGOSTO DE 1978)



GRAFICA COMPARATIVA DE 4 LAGOS DE PUERTO RICO
EN LOS 5 METROS SUPERIORES



APENDICE 2

TABLA DE OXIGENO DISUELTO
DISTRIBUCION VERTICAL
19 DE JULIO

Profundidad (M)	O ₂ Disuelto Ppm	Temp. °C	Estación	Fecha
1/2	6.8	33.00	A	8:45 A.M.
1	4.6	31.00		8:45 A.M.
1.25	6.25	26.00		8:45 A.M.
0	7.25	29.00	B	9:25 A.M.
.5	7.70	28.50		
1.	6.75	28.25		
1.5	6.70	28.50		
2.0	6.60	28.50	B	9:35 A.M.
2.5	6.55	28.50		
3.0	7.0	28.50		
3.5	6.5	28.50		
4.0	7.3	28.50		
4.5	6.4	28.50	B	9:55 A.M.
5.0	6.4	28.50		
5.5	0.4	27.75	B	10:00 A.M.
6.0	0.3	27.50		
6.5	0.1	27.00		
7.0	1.4	27.00		
7.5	1.2	26.90		
8.0	0.6	26.50		
8.5	.9	26.50		10:20 A.M.
9.0	.5	26.50		
9.5	.4	26.50		

Profundidad (M)	O ² Disuelto Ppm	Temp. °C	Estación	Fecha
0	7.1	31.50	C	12:50 A.M.
.5	7.2	31.00		
1.0	7.25	30.00		
1.5	7.6	30.00		
2.0	6.6	29.75		
2.5	6.8	29.75		
3.0	6.3	28.75		
3.5	6.6	28.50		
4.0	6.2	28.75	C	1:05 A.M.
4.5	3.8	28.00		
5.0	1.6	28.00		
5.5	0.6	28.00		
6.0	0.1	27.75		
6.5	0.1	27.25		
7.0	0.05	27.25		
7.5	0.15	27.00		
8.0	0.10	27.00		
8.5	0.05	26.50		
9.0	.025	26.50	C	1:15 A.M.
9.5	0.0	26.00		
10.0	0.0	26.00		
10.5	0.0	26.00		
11.0	0.0	26.00		
11.5	0.0	26.00		
12.0	0.0	26.00		
12.5	0.0	25.75		
13.0	0.0	26.00	C	1:27 A.M.
13.5	0.0	25.75		1:27 A.M.

Profundidad (M)	O ₂ Disuelto Ppm	Temp. °C	Estación	Fecha
0	6.4	31.10	D	1:40 A.M.
0.5	7.0	30.80		
1.0	6.7	29.00		
1.5	6.8	29.00		
1.75	6.4	29.00	D	1:55 A.M.

TABLA DE OXIGENO DISUELTO
DISTRIBUCION VERTICAL
20 DE JULIO

Profundidad (M)	O ₂ Disuelto Ppm	Temp. °C	Estación	Fecha		
.0	6.5	28.75	A	8:30 A.M.		
.5	6.1	28.75				
1.0	6.9	26.50				
1.5	7.5	25.00				
2.0	7.4	24.75				
2.5	7.3	24.75				
3.0	7.2	24.90				
3.25	7.5	24.90				
0	7.4	28.00			B	11:30 A.M.
.5	7.2	28.25				
1	7.2	28.25				
1.5	7.0	28.50				
2.0	7.0	28.50				
2.5	7.0	28.50				
3.0	7.2	28.25				
3.5	7.2	28.25				
4.0	7.2	28.25				
4.5	7.2	28.25				
5.0	6.9	28.25	B	11:45 A.M.		
5.5	7.0	28.00				
6.0	6.0	28.50				
6.5	.5	27.50				
7.0	.4	27.50				
7.5	.3	27.00				
8.0	.7	27.00				
8.5	.8	27.00				
9.0	.8	26.75				
9.5	.7	26.75			B	11:55 A.M.
9.75	.7	26.75				

Profundidad (M)	O ₂ Disuelto Ppm	Temp. °C	Estación	Fecha
.0	7.6	28.00	C	12:00 A.M.
.5	7.0	28.25		
1.0	7.2	28.25		
1.5	7.0	28.25		
2.0	7.0	28.25		
2.5	6.6	28.50		
3.0	6.2	28.50		
3.5	6.6	28.50		
4.0	6.3	28.25		
4.5	6.8	28.50		
5.0	6.2	28.50		
5.5	.6	28.00		
6.0	.1	27.50		
6.5	1.0	27.00		
7.0	.6	27.25		
7.5	.4	27.00		
8.0	.3	27.00		
8.5	.2	27.00		
9.0	.1	27.00		
9.5	.1	27.00		
10.0	.05	27.00		
10.5	0.0	27.00		
11.0	0.0	26.75	C	12:35 A.M.
11.5	0.0	26.50		
12.0	0.0	26.50		
12.5	0.0	26.25		
13.0	0.0	26.25		

Profundidad (M)	O ₂ Disuelto Ppm	Temp. °C	Estación	Fecha
.0	7.0	28.00	D	12:50 A.M.
.5	6.8	28.00		
1.0	6.6	28.00		
1.5	6.6	28.00		
2.0	6.2	28.00		
2.5	6.5	28.00		
3.0	6.1	27.25		
3.5	6.3	27.00		
4.0	6.5	26.50		

TABLA DE OXIGENO DISUELTO
DISTRIBUCION VERTICAL

Lago Carraízo
3 de agosto de 1978

Profundidad	O ₂ Disuelto	Temp. °C	Estación	Hora
0	4.2	29	A	10:00 A.M.
0.5	4.1	29		
1.0	3.8	29		
1.5	3.8	29		
2.0	3.7	29		
2.5	3.5	29		
3.0	3.2	29		
3.5	3.2	29		
4.0	3.0	29		
4.5	2.1	29		
5.0	1.8	29		
5.5	1.1	29		
6.0	0.8	29		
6.5	0.2	29		
7.0	0.2	29		
7.5	0.2	28.7		
0	3.7	28	B	10:50 A.M.
.5	3.4	28		
1.0	3.3	28		
1.5	3.2	29		
2.0	3.2	28.7		

TABLA DE OXIGENO DISUELTO
DISTRIBUCION VERTICAL

Dos Bocas
8 de agosto de 1978

Profundidad	O ₂ Disuelto	Temp. °C	Estación	Hora
0.0	6.4	30.0	B	11:20 A.M.
0.5	6.0	29.8		
1.0	5.8	29.5		
1.5	5.2	29.0		
2.0	6.1	29.0		
2.5	5.5	28.5		
3.0	5.5	28.5		
3.5	5.2	28.5		
4.0	5.0	28.2		
4.5	4.3	28.2		
5.0	2.7	28.2		
5.5	2.5	28.0		
6.0	2.0	28.0		
6.5	1.6	28.0		
7.0	3.0	27.9		
7.5	2.4	27.2		
8.0	0.3	27.2		
8.5	0.9	27.0		
9.0	0.5	27.0		
10.0	0.2	27.0		
10.5	0.1	27.0		
11.0	0.1	26.9		

TABLA DE OXIGENO DISUELTO
DISTRIBUCION VERTICAL

Profundidad	O ₂ Disuelto	Temp. °C	Estación	Hora
11.5	0.1	26.9		
12.0	0.0	26.9		
12.5	0.0	26.9		
13.0	0.0	26.9		
13.5	1.8	26.9		
14.0	2.6	26.8		
14.5	2.8	26.8		
15.0	2.8	26.9		12:00
0	6.0	31.8	D	1:10
0.5	5.7	31.0		
1.0	5.8	30.0		
1.5	5.6	29.0		
2.0	4.7	28.8		
2.5	4.8	28.6		
3.0	4.4	28.5		
3.5	4.4	28.2		
4.0	4.4	28.0		
5.0	3.9	28.0		
5.5	3.3	28.0		
6.0	2.1	27.0		

TABLA DE OXIGENO DISUELTO
DISTRIBUCION VERTICAL

Profundidad	O ₂ Disuelto	Temp. °C	Estación	Hora
6.5	1.8	27.0		
7.0	1.4	26.9		1:20
7.25 _f	f = fondo			
0.0	8.0	30.9	E	
0.5	7.7	30.8		
1.0	7.4	30.5		
1.5	6.9	29.8		
2.0	5.8	29.0		
2.5	5.0	29.0		
3.0	4.2	28.8		
3.5	4.8	28.5		
4.0	4.7	28.5		
4.5	4.8	28.5		
4.8 _f	f = fondo			
0.0	7.0	30.0	A	2:15
0.5	7.0	30.0		
1.0	7.0	29.0		
1.5	6.5	28.8		
2.0	6.3	28.8		
2.5	5.9	28.5		
3.0	5.9	28.5		

Profundidad	O ₂ Disuelto	Temp.°C	Estación	Hora
3.5	7.6	28.2		
4.0	6.6	28.2		
4.5	5.3	28.2		
5.0	2.0	28.0		
5.5	0.4	27.8		
6.0	0.2	27.9		
6.5	0.2	28.0		
7.0	0.1	27.5		
7.5	0.1	27.5		
8.0	0.1	27.2		
10.0	0.0	27.0		
12.0	0.1	26.8		
14.0	0.1	26.5		
15.0	0.0	26.5		

TABLA DE OXIGENO DISUELTO
DISTRIBUCION VERTICALLago Guajataca
10 de agosto de 1978

Profundidad	O ₂ Disuelto	Temp. °C	Estación	Hora
0.0	10.4	30.0	E	12:30
0.5	10.5	29.5		
1.0	10.9	29.0		
1.5	10.8	29.0		
2.0	10.5	29.0		
2.5	8.5	28.5		
3.0	7.3	28.8		
3.5	6.0	28.5		
4.0	3.9	28.2		
4.5	4.1	28.0		
5.0	3.5	27.8		
5.5	2.0	27.5		
6.0	2.4	27.0		
6.5	2.4	26.8		
7.0	1.6	26.0		
7.5	0.7	26.0		
8.0	0.0	25.8		
8.5	0.0	25.5		
9.0	0.0	25.2		
10.0	0.0	25.2		

Profundidad	O ₂ Disuelto	Temp. °C	Estación	Hora
0.0	10.1	30.0	C	1.00
0.5	10.2	29.8		
1.0	10.2	29.5		
1.5	10.1	29.5		
2.0	10.1	29.5		
2.5	10.0	29.3		
3.0	9.9	29.3		
3.5	7.7	29.0		
4.0	5.3	28.5		
4.5	6.3	28.2		
5.0	4.0	28.0		
5.5	2.0	27.9		
6.0	1.0	27.5		
6.5	0.1	27.0		
7.0	0.0	26.5		
8.0	0.0	25.5		
9.0	0.0	25.1		
10.0	0.0	25.0		
11.0	0.0	25.0		
0.0	10.0	30.5	A	
0.5	10.4	30.0		
1.0	11.0	20.0		
1.5	11.0	29.5		
2.0	11.0	29.2		
2.5	11.1	29.0		
3.0	10.9	29.0		
3.5	10.9	29.0		
4.0	10.7	29.0		
4.5	7.0	28.2		

Profundidad	O ₂ Disuelto	61 Temp. °C	Estación	Hora
5.0	0.5	27.9		
6.0	0.0	27.2		
6.5	0.0	26.5		
7.0	0.0	26.5		
8.0	0.0	25.5		
9.0	0.0	25.2		
10.0	0.0	25.2		
11.0	0.0	25.2		
12.0	0.0	25.3		
13.0	0.0	25.0		
14.0	0.0	25.0		
15.0	0.0	25.0		

TABLA 2

Lago Patillas

Volumen Total Aproximado $18.2 \times 10^6 \text{ M}^3$ Area Superficial 134.41 Hectareas ($1.34 \times 10^6 \text{ M}^2$)Volumen Fótico $2.47 \times 10^6 \text{ M}^3$

Profundidad Promedio 7.03 m

Productividad Bruta de O_2	Respiración	Productividad Neta	Secchi Promedio (M)
$2.29 \times 10^3 \text{ Kg/día}$	2.29×10^3	0.0	1.84 m

Lago Carraizo

Volumen Total - $2.47 \times 10^7 \text{ M}^3$

Area Superficial 392 hectareas

Profundidad Promedio 6.4 M

Productividad O_2 Mg/L/día	Respiración Mg/L/día	Productividad Neta Mg/L/día	Secchi Promedio
3.77	3.29	0.48	0.42

