

REPUBLICA DEL PARAGUAY
PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA
SECRETARIA TECNICA DE PLANIFICACION

ESTUDIO SOBRE
EL PLAN DE CONTROL DE
CONTAMINACION
DEL
LAGO YPACARAI
Y SU CUENCA

VOLUMEN 4
INFORME SUPLEMENTARIO
VI, VII, VIII, IX

AGOSTO 1989

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON

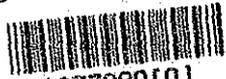
S	S	S
XXXXXXXXXX		
89 - 107		



マイクロ
フィルム作成

20119

JICA LIBRARY



1077890(0)

**REPUBLICA DEL PARAGUAY
PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA
SECRETARIA TECNICA DE PLANIFICACION**

**ESTUDIO SOBRE
EL PLAN DE CONTROL DE
CONTAMINACION
DEL
LAGO YPACARAI
Y SU CUENCA**

**VOLUMEN 4
INFORME SUPLEMENTARIO
VI, VII, VIII, IX**

AGOSTO 1989

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON

ESTUDIO SOBRE
EL PLAN DE CONTROL DE
CONTAMINACION
DEL
LAGO YPACARAI
Y SU CUENCA

LISTA DE INFORMES

VOLUMEN 1	RESUMEN EJECUTIVO	
VOLUMEN 2	INFORME PRINCIPAL	
VOLUMEN 3	INFORME SUPLEMENTARIO I	TOPOGRAFIA, GEOLOGIA Y SUELO
	INFORME SUPLEMENTARIO II	METEOROLOGIA, HIDROLOGIA E HIDRAULICA
	INFORME SUPLEMENTARIO III	VEGETACION Y VIDA ACUATICA
	INFORME SUPLEMENTARIO IV	SOCIOECONOMIA Y USO DE TIERRA
	INFORME SUPLEMENTARIO V	ESTUDIO SOBRE LAS FUENTE DE CONTAMINACION
VOLUMEN 4	INFORME SUPLEMENTARIO VI	SITUACION DE LA CONTAMINACION DEL LAGO Y ARROYOS PRINCIPALES
	INFORME SUPLEMENTARIO VII	SIMULACION DE LA CONTAMINACION
	INFORME SUPLEMENTARIO VIII	PRUEBA DE CONTROL DE CONTAMINACION
	INFORME SUPLEMENTARIO IX	PLAN DE CONTROL DE CONTAMINACION

INFORME SUPLEMENTARIO VI

**SITUACION DE LA CONTAMINACION
DEL LAGO Y ARROYO PRINCIPALES**

**SITUACION DE LA CONTAMINACION EN
EL LAGO YPACARAI Y SU CUENCA**

CAPITULO I	INTRODUCCION	VI-1
CAPITULO II	CALIDAD DEL AGUA DE LOS RIOS	VI-3
2-1	Materiales y métodos	VI-3
2-1-1	Estaciones de muestreo y los datos	VI-3
2-1-2	Métodos analíticos, items de observación y análisis	VI-4
2-2	Resultados	VI-5
2-2-1	La calidad del agua de Río Yuguyry	VI-5
2-2-2	La calidad de agua en el Río Yagua-resa-u	VI-8
2-2-3	La calidad de aguas del Río Ypucu	VI-10
2-2-4	Calidad de aguas de los arroyos afluentes al sistema hidrológico del Yuguyry	VI-12
2-2-5	Calidad de aguas de los arroyos afluentes al Sistema Hidrológico del Pirayú	VI-13
2-2-6	La Calidad de aguas de los 3 ríos en días después de precipitación	VI-15
2-2-7	Comparación de la calidad de aguas entre los 3 ríos	VI-16
2-3	Comparación con los datos existentes	VI-20
CAPITULO III	SEDIMENTO DE LOS RIOS	VI-23
3-1	Materiales y métodos	VI-23
3-2	Resultados y observaciones	VI-23
3-2-1	Diámetro de granos de sedimentos de los 3 ríos ...	VI-23

3-2-2	Características físicas y químicas de sedimentos ..	VI-24
CAPITULO IV La calidad de aguas en el Lago Ypacarai		
4-1	Materiales y métodos	VI-25
4-1-1	Estaciones de muestreo y fechas	VI-25
4-1-2	Métodos analíticos, Items de observación y Análisis	VI-25
4-2	Reslutados y observación	VI-26
4-2-1	Distribución zonal de la calidad de aguas en el Lago	VI-26
4-2-2	Distribución vertical de la calidad de aguas	VI-27
4-2-3	Tratamiento de los datos	VI-29
4-2-4	Comparación de la calidad de aguas entre el Lago y los ríos afluentes y efluentes	VI-29
4-2-5	Variación mensual de los registros de la observación in situ en el Lago	VI-32
4-2-6	Variación mensual de las características químicas y biológicas	VI-36
4-2-7	Relaciones entre las características seleccionadas de la calidad de aguas	VI-48
4-2-8	Comparación de la calidad del agua entre 1989 Y 1988	VI-52
4-3	Comparación con los datos existentes	VI-54
CAPITULO V SEDIMENTOS EN EL FONDO DEL LAGO		
5-1	Materiales y Métodos	VI-55
5-2	Resultados y observaciones	VI-56

CAPITULO VI	MECANISMO DE CONTAMINACION DE AGUA	VI-59
6-1	Mecanismo de la Contaminación de Agua y su Causa ...	VI-59
6-1-1	Característica de la Contaminación de Agua del ... Lago Ypacarai	VI-59
6-1-2	Esquema del Mecanismo de la Contaminación ... de Agua	VI-59
6-1-3	Estudios y Experimentos para Dilucidar el Mecanismo de la Contaminación	VI-61
6-2	Análisis de la Causa de la Contaminación de Agua en el Lago (Análisis semi-cuantitativo)	VI-63
6-2-1	Depuración en los humedales	VI-64
6-2-2	Sedimentación en la zona de desembocadura en tiempo de inundaciones	VI-66
6-2-3	Producción	VI-67
6-2-4	Descomposición	VI-70
6-2-5	Sedimentación	VI-71
6-2-6	Disolución del lodo del fondo	VI-75
6-2-7	Estudio del levatamiento del lodo de fondo	VI-77
CAPITULO VII	CONCLUSIONES	VI-79
CAPITULO VIII	TAREAS FUTURAS	VI-82

LISTA DE TABLAS

S6.2.1 (1) (2)	Sampling Dates and Meteorological Conditions	VI - 84
S6.3.1	Grain Diameter of Sediment in the Rivers	VI - 86
S6.3.2	Physical and Chemical Characteristics of Sediment in the Rivers	VI - 86
S6.4.1 (1) (2)	Sampling Dates and Meteorological Conditions ...	VI - 87
S6.4.2	Distribution of EC in the Lake	VI - 89
S6.4.3	Photoplankton Characteristics within Lake Ypakarai .	VI - 89
S6.4.4	Relationship BETWEEN the Sediment Mixing Ratio and the Characteristics of Lake	VI - 90
S6.4.5	Diameter of Particles in the Lake Water	VI - 91
S6.4.6 (1) (2)	Water Quality Comparison Between 1988 and 1989 (Feb. and Mar.)	VI - 92
S6.5.1	Physical and Chemical Characteristics of Sediment in the Lake (surface)	VI - 94

LISTA DE FIGURAS

S6.2.1	Stations for the Regular Sampling and the Water System	
	Sampling on the Rivers	VI - 96
S6.2.2	Monthly Temperature Variation in the Three Rivers	VI - 97
S6.2.3	Monthly DO Variation in the Three Rivers	VI - 98
S6.2.4	Monthly pH Variation in the Three Rivers	VI - 99
S6.2.5	Monthly EC Variation in the Three Rivers	VI - 100
S6.2.6	Flow Rate in the Three Rivers	VI - 101
S6.2.7	Monthly Phosphorus Variation at Y6 and Y7, Yuquyry River	VI - 102
S6.2.8	Monthly Nitrogen Variation at Y6 and Y7, Yuquyry River ..	VI - 103
S6.2.9	Monthly COD Variation at Y6 and Y7, Yuquyry River	VI - 104
S6.2.10	Monthly SS Variation in the Three Rivers	VI - 105
S6.2.11	Monthly Cl ⁻ Variation in the Three Rivers	VI - 106
S6.2.12	Fecal Coliform Number in the Lake and the Three Rivers	VI - 107
S6.2.13	Diameter of Particles in the Water of the Three Rivers	VI - 108
S6.2.14	Monthly Phosphorus Variation at P11 and P12, Y.Resa-u and Ypucu Rivers	VI - 109
S6.2.15	Monthly Nitrogen Variation at P11, Y.Resa-u River	VI - 110
S6.2.16	Monthly COD Variation at P11 and P12, Y.Resa-u and Ypucu Rivers	VI - 111
S6.2.17	Monthly Nitrogen Variation at P12, Ypucu River	VI - 112
S6.2.18	Water quality of Yuquyry River on the Day after Rainfall ...	VI - 113
S6.2.19	Water quality of the Three Rivers on the Day after Rainfall ..	VI - 114
S6.2.20	Water quality of Y.Resa-u River on the Day after Rainfall ...	VI - 115
S6.2.21	Water quality of Ypucu River on the Day after Rainfall	VI - 116
S6.3.1	Grain Diameter of the River Sediment	VI - 117
S6.4.1	Sampling Stations in the Lake	VI - 118
S6.4.2	EC Surface Distribution on Mar. 22, 1988	VI - 119

S6.4.3	EC Surface Distribution on Dec. 6, 1988	VI - 120
S6.4.4	Vertical Distributions of Temp., D.O and pH in the Lake	VI - 121
S6.4.5	Vertical Distributions of Temp, DO, pH, EC and Turbidity in the Lake, on Feb. 15 and 16, 1989	VI - 122
S6.4.6	Vertical Distributions of Characteristics of Water Quality in the Lake	VI - 123
S6.4.7	Comparison between TN of the Lake, of the Inflowing and the Outflowing Rivers	VI - 124
S6.4.8	Comparison between NH ₄ -N of the Lake, of the Inflowing and the Outflowing Rivers	VI - 125
S6.4.9	Comparison between NO ₃ -N of the Lake, of the Inflowing and the Outflowing Rivers	VI - 126
S6.4.10	Comparison between TN of the Lake and the Inflowing Rivers	VI - 127
S6.4.11	Comparison between TP of the Lake, of the Inflowing and the Outflowing Rivers	VI - 128
S6.4.12	Comparison between PO ₄ -P of the Lake, of the Inflowing and the Outflowing Rivers	VI - 129
S6.4.13	Comparison between TP of the Lake, and the Inflowing Rivers	VI - 130
S6.4.14	Comparison between TCOD of the Lake, of the Inflowing and the Outflowing Rivers	VI - 131
S6.4.15	Comparison between DCOD of the Lake, of the Inflowing and the Outflowing Rivers	VI - 132
S6.4.16	Comparison between TCOD of the Lake and the Inflowing Rivers	VI - 133
S6.4.17	Comparison between SS of the Lake, of the Inflowing and the Outflowing Rivers	VI - 134
S6.4.18	Monthly SD Variation in the Lake	VI - 135
S6.4.19	Monthly SD Variation in the Lake	VI - 136
S6.4.20	Monthly Temperature Variation in the Lake	VI - 137

S6.4.21	Monthly Temperature Variation in the Lake	VI - 138
S6.4.22	Monthly DO Variation in the Lake	VI - 139
S6.4.23	Monthly DO Variation in the Lake (Saturation Degree)	VI - 140
S6.4.24	Monthly DO Variation in the Lake	VI - 141
S6.4.25	Monthly DO Variation in the Lake (Saturation Degree)	VI - 142
S6.4.26	Monthly pH Variation in the Lake	VI - 143
S6.4.27	Monthly pH Variation in the Lake	VI - 144
S6.4.28	Monthly EC Variation in the Lake	VI - 145
S6.4.29	Monthly EC Variation in the Lake	VI - 146
S6.4.30	Monthly Phosphorus Variation in the Lake	VI - 147
S6.4.31	Monthly PO ₄ -P Variation in the Lake	VI - 148
S6.4.32	Monthly Variation of the Mean Value of Phosphorus in the Lake	VI - 149
S6.4.33	Monthly Nitrogen Variation in the Lake	VI - 150
S6.4.34	Monthly NH ₄ -N Variation in the Lake	VI - 151
S6.4.35	Monthly NO ₃ -N Variation in the Lake	VI - 152
S6.4.36	Monthly Variation of the Mean Value of Nitrogen in the Lake	VI - 153
S6.4.37	Monthly TCOD and DCOD Variations in the Lake	VI - 154
S6.4.38	Monthly Variation of the Mean Value of COD in the Lake ...	VI - 155
S6.4.39	Monthly Chl-a Variation in the Lake	VI - 156
S6.4.40	Monthly Variation of the Mean Value of Chl-a in the Lake ...	VI - 157
S6.4.41	Monthly SS Variation in the Lake	VI - 158
S6.4.42	Monthly Variation of the Mean Value of SS in the Lake	VI - 159
S6.4.43	Diameter of Particles in the Lake Water	VI - 160
S6.4.44	Monthly Variation of the Mean Value of Cl ⁻ in the Lake	VI - 161
S6.4.45	Relationship between SS and Chl-a	VI - 162
S6.4.46	Relationship between SD and Chl-a	VI - 162
S6.4.47	Relationship between SD and SS, TR	VI - 163

S6.4.48	Relationship between SS and Chl-a on Feb. 16 and Mar. 2, 1988	VI - 164
S6.4.49	Relationship between POP and Chl-a	VI - 164
S6.4.50	Relationship between TN and TP	VI - 165
S6.4.51	Relationship between pH and Chl-a	VI - 166
S6.4.52	Light Attenuation in the Lake Water	VI - 167
S6.4.53	Relationship between the Depth where the Light Intensity is 1% of the Surface and SS at the Surface (A), and Light Intensity at the Surface (B)	VI - 168
S.6.4.54	Relationship between Turbidity and SD	VI - 168
S6.4.55	Relationship between SD and the Mixing Ratio of Sediment to SS and the Sediment Content in SS	VI - 169
S6.4.56	Relationship between 80% of (SS-Sediment) and Chl-a	VI - 169
S6.5.1	Sediment Sampling Stations in the Lake	VI - 170
S6.5.2	Water Content of Surface Sediment in the Lake (%)	VI - 171
S6.5.3	Ignition Loss of Surface Sediment in the Lake (%)	VI - 172
S6.5.4	Vertical Profiles of Physical and Chemical Characteristics of the Lake Sediment	VI - 173
S6.5.5	Grain Diameter of the Lake Sediment	VI - 174
S6.6.1	Relation between Remained Ratio by Purification and Flow Rate at the Surface Area Unit in the Yuquyry Marsh	VI - 175
S6.6.2	Results of Experiments of Sedimentation	VI - 176
S6.6.3	Reduction of Illumination in Lake (Place No. 30)	VI - 177
S6.6.4	Decomposition Velocity of COD, Chl-a, SS	VI - 178
S6.6.5	Relation between Wind Velocity and Turbidity	VI - 179

ABREVIATURAS

Chl-a	Clorofila-a
TCOD	Demanda Química de Oxígeno Total
PCOD	Demanda Química de Oxígeno de Partícula
DCOD	Demanda Química de Oxígeno Disuelto
BOD	Demanda Bioquímica de Oxígeno
TP	Fósforo total
PP	Partícula de fósforo
DOP	Fósforo Orgánico Disuelto
DTP	Fósforo Total Disuelto
TN	Nitrógeno Total
TNK	Nitrógeno Total Kjeldahl
TON	Nitrógeno Total Orgánico
DON	Nitrógeno Orgánico Disuelto
DTNK	Nitrógeno Total Disuelto Kjeldahl
TR	Residuo Total
IL.TR	Pérdida por Ignición de Residuo Total
SS	Sólidos en suspensión
IL.SS	Pérdida por Ignición de Sólidos en Suspensión
DO	Oxígeno Disuelto
EC	Conductividad eléctrica
SD	Lectura del Disco Secchi

CAPITULO I

INTRODUCCION

El color del Lago Ypacarai es marrón y siempre está turbio. De acuerdo con informes existentes, la transparencia del lago (lectura de Disco Secchi) antes del año 87 fue en el orden de 7 a 15cm (ICB, 1985) a lo largo de todo el año y durante el verano el color del lago se transformó en negro y se sentía una irritación al bañarse.

Recientemente, durante el verano en que la temperatura del agua fué alta, una extensa superficie del lago cobró un color verde claro por el florecimiento de las cianófitas.

Hay varios ríos que desembocan al Lago Ypacarai, entre ellos el Río Yuquyry y el Pirayú son los principales. Hacia éstos descargan aguas servidas sin ser tratadas procedentes de viviendas, mataderos, fábricas, tierras labradas y granjas y toda la cantidad de estas aguas afluyen al lago.

La calidad de agua y el caudal de los ríos afluentes influyen directamente al grado de contaminación y eutroficación del lago. Cuando el fósforo y nitrógeno en las aguas del río están altos, se acelera la proliferación de plantas y aumenta la producción interna del lago.

La cantidad de fitoplanctón se determina por el grado de transparencia, turbiedad, partículas orgánicas N.C. y clorofilas y con ellas es posible saber el grado de eutroficación y la cantidad de producción interna.

Se entiende que el lecho de lago es donde se depositan las sales nutritivas. En un lago de poca profundidad aumenta la turbiedad tanto por la elución de sales nutritivas desde materiales del fondo lacustre como por el levantamiento de los mismos. Por consiguiente, los sedimentos del lecho lacustre afectan grandemente al comportamiento de las sustancias que se encuentran dentro del lago.

Se realizaron estudios sobre ríos afluentes y el lago tanto por ICB durante el período de 1983 a 1984 como por SENASA en 82.

Con la finalidad de obtener conocimientos básicos sobre el mecanismo de contaminación del Lago se ha llevado a cabo esta investigación, de febrero de 1988 a marzo de 1989, evaluando la variación mensual de la calidad de agua de los ríos afluentes y el lago incluyendo los humedales que se suponían tener un efecto de depuración. A continuación se describe el resultado de esta investigación.

CAPITULO II

Calidad del Agua de los Ríos

2-1 Materiales y métodos

2-1-1 Estaciones de muestreo y los datos obtenidos

1) Estaciones de muestreo y los datos obtenidos

Las estaciones regulares de muestreo son Y6 y Y7 en el río Yuquyry, P11 del Río Yaqua-Resa-u y P12 del Río Ypucu (Fig. S6.2.1). El muestreo en la estación Y6 fue iniciado en junio de 88.

Los datos de muestreo y las condiciones meteorológicas se presentan en la tabla S6.2.1.

2) Muestreo en arroyos que afluyen en los tres ríos

El 1 de julio de 88 fue efectuado el muestreo del agua de los arroyos del sistema hidrológico del Yuquyry.

El muestreo de agua de los arroyos del sistema hidrológico de Pirayú fué realizado en 5 de julio de 88.

En la figura S6.2.1 se encuentran indicadas las estaciones de muestreo de ambas investigaciones.

3) Muestreo días después de la precipitación

Las investigaciones de la calidad de agua de los ríos después de la lluvia fueron llevadas a cabo entre el 31 de octubre y el 3 de noviembre de 88.

Estaciones muestreadas son las estaciones regulares de Y7, P11 y P12.

Se conservaron las aguas de muestreo a 20°C bajo cero y se efectuó el análisis de todas las muestras en forma simultánea por los métodos convencionales.

2-1-2 Métodos analíticos, ítems de observación y análisis

1) Observación in situ

Ítems de medición : Transparencia, Temperatura, EC, DO, pH, Velocidad del agua y volumen del agua escurrida

Equipos : Tipo portátil con cable largo (Serie US, Central Kagaku)

2) Ítems del análisis de la calidad del agua

Ítems del análisis en el laboratorio

: TP, DTP, PO₄-P, TNK, DTNK, NH₄-N, NO₃-N, TCOD, DCOD, BOD, TR, IL de TR, SS, IL de SS, Cl-, TFe, Alcalinidad, Coliformes fecales, Bacterias, POC, PON y Diámetro de partículas.

No todos estos ítems fueron analizados en cada medición.

3) Tratamiento de muestras y métodos de análisis

Los ítems mencionados abajo fueron obtenidos por los siguientes cálculos:

Las aguas del muestreo fueron transportadas al laboratorio a baja temperatura guardándolas dentro de una caja con hielos.

Para la filtración se utilizó un filtro de fibras ópticas de GF/C (1 μ de porosidad) y las sustancias residuales sobre el filtro fueron tratadas como sustancias granulares y las que se encontraban en el líquido filtrado fueron clasificadas como sustancias disueltas.

Se añadió un poco de ácido para guardar en la nevera las aguas no tratadas o aguas filtradas. En caso de largo período de conservación, las mismas fueron congeladas.

Para el análisis de PON y POC, se secaron los papeles filtrados para transportarlos hasta el Japón y fueron analizados por un analizador CN.

Se adicionó una pequeña cantidad de formaldehído al agua para la medición del diámetro de partículas. Este agua fue sacado en el mismo día que las muestras de PON y POC y fue analizada en Japón con un contador de alquitrán.

$$PP = TP - DTP$$

$$DOP = DTP - PO_4 - P$$

$$TN = TNK + NO_3 - N$$

$$TON = TNK - DTNK$$

$$DON = DTNK - NH_4 - N$$

$$POCD = TCOD - DCOD$$

2-2 Resultados

2-2-1 La calidad del agua del Río Yuquyry

1) Registros por observación in situ

El color del Río Yuquyry es de café turbio. Cuando el caudal está alto, el color se transforma en café rojizo, lo cual indica que hay mayor invasión de sedimentos.

El DO de este río es constantemente bajo y el promedio del grado de saturación es del 48%, por lo tanto, se entiende que la cantidad de contaminantes orgánicos es abundante.

La otra característica destacable es un alto nivel de la EC. En especial, cuando hay mucha precipitación, se detecta un mayor nivel de EC, (13 de abril de 88).

Aunque la EC en la estación Y6 que está ubicada en el curso inferior de la Y7 es levemente alta, el patrón de variación es muy parecido, (Figuras S6.2.2 a 6).

2) Fósforo

TP : Independientemente de las estaciones y precipitaciones, la concentración TP varía grandemente de acuerdo con el mes (de 195 a 1,090 μ g/l).

PO₄-P : La concentración PO₄-P es alta, ocupando casi un 50% de TP. El patrón de variación es similar al de TP, (Fig. S6.2.7).

El TP en la estación Y6 es un poco más alta que en la Y7 y el PO₄-P es casi igual.

3) Nitrógeno

TN : Es constante durante el verano e invierno, pero sufre una gran variación desde la primavera hacia el verano, mostrando un valor muy alto, (Fig. S6.2.8).

NH₄-N: En general, el valor es alto con una notable variación. Ocupa mucha parte del TN (el 35%), alternativamente con el DON.

NO₃-N: La concentración es baja. Ocupa un 30% del TN como máximo y generalmente se sitúa por debajo de una décima parte.

En general, el nivel del N en la estación Y6 es más alto que en la Y7, sin embargo, el patrón de variación es parecido.

4) Demanda Química de Oxígeno (COD)

TCOD : Indica un nivel alto, siendo el promedio de 32mg/l. Cuando hay mucho caudal, se observa una tendencia a aumentar levemente su concentración (el 13 y 19 de abril y el 18 de agosto), (Fig. S6.2.9).

Tanto la concentración como el patrón de variación en la Y6 son parecidos a la Y7.

5) Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD)

A pesar de que las concentraciones de otras variables son altas, el valor de la BOD es bajo. Se estima que existe una elevada cantidad de

materias orgánicas como componentes de nitratos que no son degradables en 5 días.

En el curso superior de la estación Y7 del Río Yuquyry se encuentran mataderos que descargan aguas servidas sin tratamiento. Se deduce que una considerable cantidad de componentes de nitratos son descargados al río.

El nivel de la BOD en la Y6 es un poco menor que en la Y7. Aunque existen unos arroyos afluentes, se considera que hay un efecto de autopurificación entre la Y7 y la Y6.

6) Sólidos Suspendidos (SS) y Residuo Total (TR)

SS : Después de la precipitación aumenta la concentración de SS y se eleva considerablemente la cantidad de carga, (Fig. S6.2.10).

Hay variación del valor aunque el nivel del agua esté normal. Cuando la concentración de SS es baja, la cantidad de materias orgánicas en partícula es casi constante (53%).

TR : El valor es considerablemente constante.

La diferencia con SS es del 73% de TR (materiales disueltos), lo que indica que hay alto grado de solubilidad.

Según el contador de alquitrán, el 73% del diámetro son menores a 1 μm , por lo tanto, muchos de ellos son solubles al agua.

Aunque el valor de TR en la Y6 es más alto que en la Y7, no se observa la variación mensual y la tasa de la IL de TR en la estación Y6 es muy parecida a la de la Y7.

7) Cl-

La concentración de Cl- es considerablemente alta (promedio; 47 mg/l) en el Río Yuquyry y hay una gran variación de 3 a 82 mg/l.

Al considerar el Cl- de los ríos afluentes, el Cl- de aguas arribas sería en el orden de 3 a 4mg/l, lo que se entiende que hay una gran cantidad de descarga de sustancias contaminantes hacia el Río, (Fig. S6.2.11).

El Cl- en la estación Y6 es un poco más alto que en la Y7.

8) Número de Coliformes Fecales

Aunque hay una variación en el número, se vé una tendencia al aumento al subir la temperatura del agua.

Se entiende que existe una considerable cantidad de descargas humanas, (Fig. S6.2.12).

2-2-2 La calidad de agua en el Río Yagua-Resa-u

1) Registros de observación in situ

El nivel de transparencia es bastante alto a lo largo de todo el año. Tanto la concentración como el grado de saturación de DO son altos (el 93%), por lo que se estima que no existe mucha cantidad de materias orgánicas contaminantes descargadas. La EC es baja, y cuando hay mucho caudal se observa una leve bajada de la misma, (Figs. S6.2.2 a 6).

2) Fósforo

TP : El valor promedio es de 91µg/l. Aunque no hay mucha variación mensual, se ve una tendencia al aumento después de la precipitación, lo cual indica que hay muchas fuentes no puntuales (el 13 de abril), (Fig. S6.2.14).

PO₄-P : En general, el valor es bajo y hay días en que se registra 0µg/l (el 26 de septiembre y el 24 de octubre). Se observa una tendencia a aumentar la concentración después de la precipitación (el 19 de abril). Este elemento ocupa un tercio de TP.

3) Nitrógeno

TN : La concentración varía grandemente por mes (Fig. S6.2. 15). Como lo indican los valores de los días 13 y 19 de abril, aumenta la concentración después de la precipitación, lo que hace pensar que hubo una afluencia de TN afluencia desde la cuenca, (Fig. S6.2.15).

DON : Ocupa un alto porcentaje en el TN (aprox. un 50%)

NH₄-N: La concentración es baja (0 a 224µ/l; media: 78µg/l).

NO₃-N: La concentración del NO₃-N es baja (20 a 554µg/l), alcanzando un mayor valor después de la precipitación en el día 13 de abril.

4) COD

TCOD : Hay mucha variación mensual que oscila entre 2 y 39mg/l, (Fig. S6.2.16).

Se entiende que hay una alteración en la cantidad de descarga de contaminantes orgánicos.

DCOD : Oscila entre 0 y 31mg/l y hay mucha variación.

5) BOD

El valor es bastante bajo (1 a 2.0mg/l). Se considera que existen muy pocas materias orgánicas degradables biológicamente. No obstante, debido a un alto nivel de la IL del TR o la COD, es probable que se encuentren materias orgánicas como compuestos de nitratos que no hayan sido degradados en los 5 días de pruebas de BOD.

6) SS y TR

SS : El alto valor del 19 de abril es probablemente atribuible a la afluencia de sedimentos por la precipitación.

Otros días tienen valores bajos, (Fig. S6.2.10).

En general, hay un pequeño aumento después de la precipitación.

TR : Aunque hay pocas variaciones mensuales, oscila el nivel de IL del TR.

Del 80 al 90% de las partículas son menores de 1µm, lo cual concuerda bien con el resultado de la medición del diámetro de partículas que indica que un 84.3% de partículas son menores de 1µm.

7) Cl-

Generalmente el nivel de concentración es muy bajo. Sin embargo, en algunos casos la subida de la concentración se asocia con una elevada concentración de TP (el 15 de mayo 20) o con un alto valor de la concentración TN y de la alcalinidad (el 26 de septiembre).

8) Número de Coliformes Fecales

Oscila entre 424 y 950 unidades por 100ml y no es tan alta la variación.

2-2-3 La calidad de aguas del Río Ypucu

1) Registro de observación in situ

La transparencia de este río no es tan alta, pero, mejora levemente durante el invierno.

El grado de saturación del DO nunca rebasa el 100%, (oscilando del 49 al 98%), (Fig. S6.2.3).

El pH tiende a reducirse levemente después de la precipitación (el 13 y 19 de abril), en cambio, la EC tiende a aumentar durante los días de bajo caudal (el 6 de abril, el 4 de mayo y el 14 de junio), (Fig. S6.2.4 a 6).

2) Fósforo

TP : Se observa un aumento del TP supuestamente de origen no puntual después de la precipitación (el 13 de abril).

Durante otros meses el valor oscila entre 103 y 272µg/l.

Cuando el TP es alto, se incrementa el TOP.

PO₄-P : Cuando el valor del TP es alto, el del PO₄-P tiende a reducirse.

En cambio, cuando el TP es bajo, el PO₄-P es alto.

El promedio es de 84µg/l y ocupa casi un 45% del TP.

Aunque hay mucha variación mensual en su concentración, aumenta la afluencia del PO₄-P después la precipitación.

3) Nitrógeno

TN : Aunque se observaron picos después de la precipitación en los días 13 y 19 de abril, mostró un valor excepcionalmente alto (3,916µg/l) el 26 de septiembre, (Fig. S6.2.17).

En otros meses los valores fueron entre 588 y 3,258 µg/l.

TON : La concentración casi siempre está alta y ocupa alrededor del 75% del TN.

NH₄-N: Oscila considerablemente desde 0 a 547µg/l.

El porcentaje del TN es muy bajo, siendo menos del 10%.

NO₃-N: Aunque es casi el doble del NH₄-N, no se observa un aumento drástico después de la precipitación.

Ocupa un 20% del TN.

4) COD

TCOD : La concentración oscila entre 5 y 41mg/l.

La concentración aumenta ligeramente por efecto de la precipitación,

(Fig. S6.2.16).

DCOD : La concentración oscila entre 0 y 38mg/l y presenta un valor alto si hay precipitación.

5) BOD

La concentración se sitúa entre 1.0 y 6.9mg/l y se ve una tendencia de aumento durante el invierno. La proporción con relación a la TCOD es baja, siendo $BOD/TCOD \approx 1/7$.

6) SS y TR

SS : Hay mucha variación por mes (de 8,8 a 301.5mg/l), (Fig. S6.2.10).

Aunque se observa un aumento después de la precipitación, no es tan notable. Mostró un valor muy elevado el 15 de mayo cuando el nivel del agua estaba normal. Sin embargo, no se sabe la causa.

TR : Oscila de 167 a 224mg/l y los SS ocupan un 20% del TR.

7) Cl-

La variación de concentración es grande (de 3 a 54mg/l) (Fig. S6.2.11) y oscila independientemente de otros elementos de la calidad del agua y el caudal.

2-2-4 Calidad de aguas de los arroyos afluentes al sistema hidrológico del Yuquyry

1) Estaciones de muestreo

El Río Yuquyry tiene muchos ramales y alrededor de unos arroyos muy pequeños se encuentran viviendas, considerándose que el río recibe alguna influencia de este hecho. Por lo tanto, se han realizado muestreos y observaciones en los puntos adecuados para entender el sistema hidrológico del Yuquyry incluyendo los sitios que, supuestamente, no han sufrido contaminaciones graves y otros que ya están muy contaminados, (Fig. S6.2.1 y Estaciones de Y1 a Y8).

2) Resultado

Lo destacable es el nivel muy bajo de DO en todas las estaciones. Por otro lado, la EC aumenta repentinamente en el curso principal del Yuquyry .

① Estaciones Y4-1 a Y4-3

Muy cerca de estas estaciones se encuentra una refinería de aceite que descarga aguas servidas sin tratamiento, este hecho produce un efecto substancial.

Los datos de la estación Y4-3 provienen de muestras obtenidas en la salida de desagüe cuya cantidad de descarga es de 2,450m³/día, ocupando solamente cerca del 6% del caudal total del río. Aunque este valor de efluencia no es muy alto, las concentraciones del P y N son muy elevadas. Por consiguiente, la cantidad neta de descarga es muy alta y evidentemente es una gran fuente de contaminación.

② Otras estaciones

Excepto el arroyo con la estación Y3, se puede decir que la mayoría de los arroyos están contaminados.

La estación Y3 está ubicada en un arroyo que atraviesa campos secos. El $\text{NO}_3\text{-N}$ es relativamente alto, y el porcentaje de materias orgánicas diluidas dentro de la totalidad de materiales disueltos es considerablemente alto (el 84%).

2-2-5 Calidad de aguas de los arroyos afluentes al Sistema Hidrológico del Pirayú

1) Estaciones de muestreo

Se han seleccionado los puntos adecuados para observar todo el sistema hidrológico del Pirayú, (Fig. S6.2.1 y Estaciones P1 a P12).

2) Arroyos contaminados

La estación P1 está ubicada en un arroyo casi estancado en el medio de pastizales. El DO es muy bajo y la EC, el TP, el TN, el TR, los SS, el Cl- y la alcalinidad son muy altos, por lo que, es obvio que este arroyo está contaminado. También se observan muchas partículas de P y N.

El nivel de SS es más alto que el de TR (el 65%) y además la IL de SS es baja (el 23%), lo que hace que tenga un alto nivel de materias no orgánicas suspendidas.

En el curso superior de la estación 4 (en el arroyo Zanja Moroti) se encuentran 2 fábricas de alcohol de donde se descargan efluentes industriales no tratados y, como consecuencia, el grado de contaminación de este arroyo es muy elevado.

El color del arroyo es de negro oscuro y emanan olores desagradables. De acuerdo con el resultado del análisis, el nivel del $\text{PO}_4\text{-P}$ es muy alto (559 $\mu\text{g}/1$) y se observa mucha cantidad de nitrógeno, dentro del cual el DON es alto, en cambio, el $\text{NH}_4\text{-N}$ es muy bajo.

La TCOD es alta y, sobre todo, la DCOD es elevada. Comparado con el nivel de SS, el TR es abundante y además el nivel de la IL del TR es

alto. Por consiguiente, se entiende que existe una gran cantidad de descargas orgánicas en forma de partículas menores de 1µm.

3) Otros ríos

Según los resultados del análisis de la calidad de aguas, se considera que las estaciones P2 (el Río Pirayu), P3 y P5 (el Río Mbatovi), P6 (el Río Cárdenas) y P7 (el Río Paso Vera) no están marcadamente contaminadas.

Entre los 5 arroyos, el Pirayu tiene un caudal mayor y es un arroyo relativame grande.

La tabla de abajo indica la calidad de aguas del sistema hídrológico del Pirayu, basándose en los datos de los 5 arroyos y los valores en las estaciones P11 y P12.

DO		EC	pH	TP	PO ₄ -P	TN	NH ₄ -N	NO ₃ -N
mg/ℓ	%	µs/cm						
8.9	9.3	60	6.6	77	50	993	44	262

Aunque existen arroyos contaminados (P4) en el curso superior de la estación P2 (el Río Pirayu), se cree que el agua es auto-depurada antes de llegar a la estación P2.

Unicamente, se encuentra una pequeña urbanización cerca de la estación P3.

Se estima que a causa de la existencia de viviendas cercanas a la estación P3, se eleva el nivel del TN.

Debido a escasos arroyos afluentes, el Río Yagua-Resa-u no está contaminado.

Los valores del Río Ypucu se sitúan por encima de los promedios. Es de creer que por la existencia de numerosos arroyos afluentes, la

entrada de contaminantes es más fuerte que la capacidad de auto-depuración.

El sistema hidrológico del Pirayú cuenta con muchas fuentes no puntuales tales como campos secos y pastizales (Informe suplementario V). Cuando aumenta la precipitación, se cree que hay mayor entrada de contaminantes.

2-2-6 La calidad de aguas de los 3 ríos en días después de precipitación

La investigación fué llevada a cabo entre el 31 de octubre y el 3 de noviembre, siendo la precipitación total de 93mm durante este período.

Se dieron comienzo a la observación y muestreo aproximadamente media hora después de la caída de lluvia.

Los resultados se encuentran en las Figuras S6.2.18 a 21. A continuación se apuntan los resúmenes de la investigación de los 3 ríos.

- No hay variación del TON y el $\text{NH}_4\text{-N}$ en los 3 ríos durante el periodo de la investigación.
- La concentración del $\text{NO}_3\text{-N}$ es marcadamente alta.
- La PP o la concentración de DOP es alta, pero el $\text{PO}_4\text{-P}$ es bajo.
- En especial, la concentración del SS es alta en los 3 ríos, siendo más del doble de la época de caudal normal.

Aunque las concentraciones relacionadas a la calidad de agua no son alta después de la precipitación, el caudal es abundante y aumenta la carga.

A continuación se hace una comparación entre la carga durante el período de la investigación y el día 24 de octubre del 88.

Ríos	TP	TN	TCOD	SS
Yuquyry	6.9	9.2	6.3	28
Yagua Resa-u	110	60	28	181
Ypucú	21	12	12	38

En comparación con otros 2 ríos, en el Río Yuquyry la relación entre la carga después de la precipitación y la de la época no lluviosa es muy pequeña. En el Río Yuquyry hay pocas fuentes no puntuales, por lo cual, no aumenta temporalmente la afluencia de la carga después de la precipitación.

En cambio, hay mucha diferencia en esta relación en el Río Yagua Resa-u, lo cual indica que existe mucha descarga desde fuentes no puntuales.

La concentración de SS en los 3 ríos es notablemente grande. Se cree que por la erosión de la cuenca se presenta este fenómeno.

2-2-7 Comparación de la calidad de aguas entre los 3 ríos

1) Comparación de la calidad de aguas entre los 3 ríos en días despejados

En la Cuenca del Río Yuquyry se encuentran mayores fuentes de contaminación puntuales tales como fábricas y urbanizaciones que las no puntuales. Es claro que los arroyos afluentes traen contaminantes cuando el nivel del agua está normal.

Aunque es diferente el grado de contaminación de los arroyos por contaminantes descargados, se estima que la cantidad de contaminantes afluidos es considerablemente grande.

Por lo general, las aguas son auto-depuradas a medida que avanzan hacia su curso inferior. No obstante, en el Río Yuquyry, aún en la estación Y7 (Y6), no hay indicación alguna de que se ha obtenido la capacidad de auto-depuración. Posiblemente por un alto nivel de contaminación procedente de arroyos afluentes se ha presentado este efecto.

Por consiguiente, en la estación Y7 y, en su curso inferior, en la Y6 cada elemento de la calidad del agua es muy elevado.

Por otro lado, aunque dentro del sistema hidrológico del Pirayú que está compuesto por el Río Yuguyry y el Ypucu, hay unos arroyos afluentes contaminados (P1 y P4) y se observa el efecto de auto-depuración aguas abajo (P2).

No hay muchos arroyos afluentes en el Río Yagua Resa-u, por lo cual, se deduce que su grado de contaminación es reducido.

Sin embargo, en la estación Y12 del Río Ypucu los valores de la calidad del agua están por encima de los promedios de los arroyos afluentes menos contaminados, lo cual indica que existen descargas y depósitos de contaminantes.

Al contrario de la Cuenca del Río Yuquyry, hay más fuentes no puntuales en la Cuenca del Río Pirayu. Por lo tanto, se considera que la cantidad de contaminantes que entra en el río durante la época no lluviosa es menor que en la temporada de precipitación.

Los valores analíticos en las estaciones representativas de Y7, P11 y P12 de los Ríos Yuquyry, Yagua Resa-u y Ypucu con los arroyos anteriormente citados tienen las siguientes características.

- ① El nivel de DO es notablemente bajo en la estación Y7 del Río Yuquyry, reflejando la mayor cantidad de contaminantes orgánicos existentes en el mismo en relación a los otros ríos. Sin embargo, las concentraciones de todos los elementos de la calidad del agua son más altas entre los 3 ríos.
- ② La concentración del TP en la estación Y7 es de 195 a 1,090 $\mu\text{g}/\text{l}$, siendo de 1/5 a 1/6 parte de este rango en la estación P11 y un 70% en la estación P12.
- ③ El cuanto a la relación entre el $\text{PO}_4\text{-P}$ y el TP, se observa un valor alto del 50% en la estación Y7, siendo el 30% y el 45% en las estaciones P11 y P12, respectivamente.
- ④ El TN en la estación Y7 es alto, registrando entre 1.6 y 5.6 mg/l ; en cambio, en la estación P11 ocupa la mitad de esta cantidad y en la P12 dos tercios de la misma.
- ⑤ El $\text{NH}_4\text{-N}$ en la estación Y7 es constantemente alto, ocupando el 35% del TN. En cambio, se observan menos del 10% en las estaciones P11 y P12.
- ⑥ El $\text{NO}_3\text{-N}$ en la estación Y7 es relativamente bajo, ocupando el 10% del TN. En la estación P11 es el 4% de la cantidad registrada

en la Y7, y en la P12 es levemente menor que en la Y7. El porcentaje de $\text{NO}_3\text{-N}$ dentro del TN en la estación 12 es alto, ocupando el 20% del TN y al mismo tiempo el nivel del TON referente al TN es alto.

- ⑦ La COD en la estación Y7 es en el orden de 11 a 57mg/l y sube el valor por efecto de la precipitación. En la estación P11 es $\frac{2}{3}$ de la Y7 y el valor de la P12 es levemente mayor que en la estación P11. En ambas estaciones se observa el efecto de las lluvias.
- ⑧ La BOD en las 3 estaciones es considerablemente reducida al tenerse en cuenta la cantidad de materias orgánicas determinadas a base de la COD y IL de TR. Sin embargo, la relación de BOD/COD en las estaciones Y7, P11 y P12 es de $\frac{1}{4.6}$, $\frac{1}{13}$ y $\frac{1}{7}$, respectivamente, la cual indica que la cantidad de COD proveniente de las fuentes puntuales en los Ríos Yagua Resa-u y Ypucu es menor que en el Río Yuquyry.
- ⑨ El nivel de SS en la estación Y7 es más alto, oscilando en el orden de 26.0 a 108mg/l y por efecto de la precipitación se incrementa el valor hasta 268mg/l, registrando el nivel más bajo en la estación P11. El efecto de la precipitación en la P12 no están destacable. La IL de los tres ríos se sitúa alrededor del 50% y las partículas granulares ocupan un 20%.
- ⑩ El diámetro de partículas en el Río Yuquyry es el más grande (máx. 10 μm) y le sigue el del Río Ypucu (8 μm) y el más pequeño es del Río Yagua Resa-u (5 μm).
- ⑪ El volumen de aguas afluentes al Río Yuquyry es el mayor de todos y lo mismo es la cantidad de carga en este río.

A continuación, se realiza un cálculo de la cantidad de carga en las tres estaciones de los 3 ríos con el nivel del agua normal.

Debido a la oscilación del caudal y la concentración de la calidad de agua aún cuando el nivel del agua esté normal, no siempre se obtiene el mismo resultado como en la tabla de arriba. En especial, la concentración del N del 26 de septiembre de 88 fue alta y el valor del

unidad: kg/día, 26 Set, 88

	TN	NH ₄ -N+NO ₃ -N	TP	PO ₄ -P	TCOD	SS
Y7	630.2	471.3	84.6	61.5	1473	5022
P11	80.8	43.1	2.4	0	91	1772
P12	111.7	21.0	7.1	2.9	627	1334

NH₄-N fué marcadamente elevado en la estación Y7 en el mismo día. Por consiguiente, la carga del N en la misma estación quedó alto.

La concentración de la estación P11 es constantemente más baja que la de la P12. No obstante, debido al mayor volumen del caudal, a veces, la cantidad de carga se sitúa por encima de la de la estación P12.

La suma de las cargas de las estaciones P11 y P12 afluyen al Lago. La cantidad de carga del Río Yuquyry hacia el Lago es mayor que el conjunto de los dos ríos. Por lo tanto, el Río Yuquyry tiene mayor contribución hacia el Lago como el portador de contaminantes.

- 2) Comparación de la carga descargada entre los tres ríos después de la lluvia.

Se comparará a continuación la carga descargada de los 3 ríos después de la lluvia.

El resultado del cálculo a base de las tablas de S6.2.2.6 y S6.2.2.7 es el siguiente.

×10³kg/día

	TN	TP	TCOD	SS
Y7	5.8	0.6	9.3	140.6
P11	4.8	0.3	2.5	320.7
P12	1.3	0.15	7.5	50.7

Se ha elaborado esta tabla habiendo cálculos a base de la cantidad de carga del 26 de septiembre con el nivel del agua normal y de la

relación entre las cargas después de la lluvia y durante el caudal ordinario.

Mientras el nivel del agua estaba normal, la carga de todos los ítems del Río Yuquyry fue mayor. Sin embargo, por el aumento de las cargas afluidas desde fuentes no puntuales hacia los Ríos Yagua Resa-u y Ypucu durante la precipitación, se dió este resultado.

En el Río Yagua Resa-u aumenta notablemente la cantidad de carga desde las fuentes no puntuales después de la precipitación. En especial, el aumento del TP es muy marcado, siendo aproximadamente 1/35 de la Y7 en un día despejado contra 1/2 de la misma después de la precipitación.

Sin embargo, no es claro si se presenta este incremento en cualquier momento y además dependiendo de la intensidad de la precipitación, varía el comportamiento. Durante el día 31 de octubre se registró una precipitación de 93mm, siendo una cantidad no anormal en el Paraguay. Cuando hay lluvias de esta intensidad, la cantidad de carga desde el Río Yuquyry hacia el lago es casi la misma que la del Río Pirayu. Sobre todo, la descarga de SS desde el Río Pirayu es grande.

2-3 Comparación con los datos existentes

mg/l	P11			P12		
	Oct. 6 '81	Apr. 23 '82	Sep. 9 '82	Oct. 6 '81	Apr. 23 '82	Sep. 9 '82
NO ₃ -N	0.03	0.23	0.21	0.39	0.26	0.38
NH ₄ -N	0.07	0.07	0.05	0.29	0.16	0.09
PO ₄ -P	0.24	0.04	0.07	0.23	0.04	0.03
BOD	—	1.06	7.33	—	—	9.75
TR	273	142	186	265	146	156

Esta tabla muestra el resultado de los análisis por SENASA en las estaciones Y6 y Y7 en el año 82.

Al comparar con los datos de 88, se entiende que la concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ es más alta que la del $\text{NH}_4\text{-N}$ y la concentración de TIN del 82 es tan elevada como la del año 88.

La concentración del $\text{PO}_4\text{-P}$ de 88 es un poco mayor que el de 82.

Tanto la BOD como el TR de 82 son más elevados.

A base de estos escasos datos se llega a la conclusión de que, a pesar del aumento de descargas humanas hacia el Río Yuguyru en el 88 (como es evidente por el aumento de $\text{NH}_4\text{-N}$) por el incremento de la población en su Cuenca, no hay un cambio notable en el grado de contaminación. Por lo tanto, se cree que la contaminación del Río Yuquyry comenzó desde muchos años atrás.

La comparación del mismo carácter con los datos existentes entre el Río Ypucu y el Río Yagua Resa-u se encuentra a continuación.

mg/l	Y6		Y7		
	May 7 '82	Sep. 7 '82	Mar. 9 '82	May 7 '82	Sep. 7 '82
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.53	3.13	0.43	1.07	3.62
$\text{NH}_4\text{-N}$	0.75	1.33	0.32	—	0.98
$\text{PO}_4\text{-P}$	0.20	0.24	—	0.30	0.28
BOD	16	8.82	—	16	1.74
TR	—	609	422	—	541

En el Río Yagua Resa-u el valor del TIN queda casi en el mismo nivel durante los años de 81, 82 y 88. La concentración de P04-P en 81 y 82 es más alta que en 88 y las mismas de BOD y TR en 81 y 82 son levemente más elevadas que en 88.

En el Río Ypucu tanto la concentración de P04-P como la de N03-N y N04-N en 88 son levemente más altas que en los años 81 y 82. El valor de la BOD de 82 es un poco elevado mientras el del TR permanece en el mismo nivel durante los tres años.

No es posible comparar el grado de contaminación sólo con los valores de concentración, hay que determinarlo con la cantidad total teniendo en cuenta el caudal. En los meses consecutivos de 82 se registró una pequeña cantidad de precipitación y lo mismo fue en el año 88. Se considera que ha avanzado ligeramente la contaminación del Río Ypucu en el años 88 al comparar con el estado de 82.

CAPITULO III

Sedimentos de los ríos

3-1 Materiales y métodos

El día 9 de julio de 88 se efectuó el muestreo de sedimentos superficiales en las estaciones regulares de los 3 ríos (Y6, Y7, P11 y P12) y en la P2 en el Río Pirayú y se hicieron mediciones y análisis, (Ver Figura S6.2.1).

Las muestras del N orgánico y C orgánico fueron transportados en seco hasta el Japón para analizar por un analizador CN.

En cuanto a la medición del diámetro de granos, se llevaron unas muestras en seco hasta el Japón y se hizo un cribado en húmedo y medición por un contador de alquitrán.

3-2 Resultados y observaciones

3-2-1 Diámetro de granos de sedimentos de los 3 ríos

En la Tabla S6.3.1 se encuentran las medidas del diámetro y las proporciones, y la Figura S6.3.1 indica la distribución de las medidas.

Los sedimentos de los tres ríos son areniscas y aparentemente no se observa ninguna diferencia entre ellas.

Sin embargo, el tamaño de granos sedimentados del Río Yuquyry es mucho más grande que el de los otros dos ríos. Se cree que la formación de materiales del fondo de este río es diferente que los otros dos ríos.

El tamaño de granos de fenocristales dentro de rocas madres en el curso superior del Río Yuquyry es más pequeño que el del Río Pirayú. No obstante, las rocas madres del Río Yuguyry son mas frágiles que las del Río Pirayú y, junto con las matrices pequeños componentes de rocas madres los granos de fenocristales del Río Yuguyry afluyen hasta el lago.

En cambio, el tamaño de granos de fenocristales del Río Pirayu es más grande que el del Río Yuquyry, pero, sólo las matrices de menores tamaños llegan al lago y los granos de fenocristales quedan aguas arriba.

Por consiguiente, el rango de distribución del diámetro del Río Yuquyry es más amplio que el del Río Perayu.

3-2-2 Características físicas y químicas de sedimentos

La Tabla S6.3.2 indica las características físicas y químicas de sedimentos.

Las características de la estación P2 del Río Pirayu son muy diferentes que las de las otras cuatro estaciones, siendo altos tanto la IL como el contenido de C, N y agua, en cambio la densidad es menor. Por lo tanto, se entiende que los sedimentos de esta estación son menos areniscos.

Las características físicas y químicas de los sedimentos de las otras cuatro estaciones son muy parecidas, excepto el tamaño del diámetro.

Aunque hay una considerable cantidad de materias orgánicas descargadas desde los tres ríos, el nivel del contenido de materias orgánicas dentro de los sedimentos es reducido. Se cree que las materias orgánicas descargadas llegan hasta aguas abajo sin ser fijadas, sedimentadas y absorbidas por sedimentos.

CAPITULO IV

La calidad de aguas en el Lago Ypacarai

4-1 Materiales y métodos

4-1-1 Estaciones de muestreo y fechas

1) Estaciones de muestreo

La Figura S6.4-1 muestra las estaciones de muestreo en el lago. Se han efectuado en cada estación tanto las observaciones in situ como muestreos de aguas para el análisis de la calidad de las aguas. Aunque no se han realizado la observación y el muestreo de aguas en todas las estaciones en cada oportunidad, se ha tratado de examinar y hacer muestreo dando prioridad tanto a las estaciones 0 y 4 que son hipotéticamente los puntos más representativos de la desembocadura del Río Pirayu, como a las estaciones 25, 49 y 57 que están en el centro del Lago, Yuquyry Boca y Riacho Negro en la desembocadura del Río Yuquyry y Salado Boca en el punto de efluencia.

2) Datos

La investigación comenzó el 16 de febrero de 88 y se realizó casi una vez al mes hasta el 3 de marzo de 89. En la Tabla S6.4.1 se encuentran las fechas y condiciones meteorológicas de los días de observación.

4-1-2 Métodos analíticos, Items de observación y Análisis

1) Observación in situ

Los items de observación en cada estación son: profundidad, transparencia, Lectura de Disco Secchi, temperatura, pH, DO, EC y color.

Se midieron la temperatura, pH, DO y EC tanto en la capa superior como en la inferior (casi 10cm por encima del fondo) y se realizaron varias mediciones sobre la turbiedad e intensidad de la luz debajo del agua.

Para la medición de cada ítem se emplearon los equipos utilizados para la observación de los ríos (Serie US tipo portátil, Central Kagaku). Las aguas para el análisis de calidad fueron obtenidas en la capa superior, y para sacar aguas del fondo fue empleada una botella de Van Dohrn.

Los métodos de transporte, almacenamiento y filtración de aguas del muestreo son los mismos que fueron empleados para las aguas de los ríos.

2) Ítems del análisis

Los ítems para el análisis de la calidad de aguas son los mismos que fueron realizados en los ríos, excepto la concentración de Chl-a que fue adicionada esta vez.

Los métodos del análisis son idénticos que los ríos.

La PON y POC del agua superficial de las estaciones 4, 25 y 49 del 8 de julio de 88 fueron analizadas en el Japón por un analizador CN.

También, el diámetro y la proporción de las partículas de aguas superficiales, que fueron sacadas en el mismo día en que se realizó el muestreo de PON y POC en las estaciones de 1, 4, 25 y 49 y en Yuguyry Boca, fueron analizados con un contador de alquitrán en el Japón.

4-2 Resultados y Observaciones

4-2-1 Distribución zonal de la calidad de aguas en el Lago

Los niveles de la EC de cada mes en las estaciones 4, 25, 49 y 57 que son hipotéticamente las más representativas del lago se muestran en la Tabla S6.4.2. Aunque se observan unas oscilaciones en cada mes, los patrones de oscilación mensual son parecidos.

Es evidente que en la superficie de la estación 4 se encuentran las aguas del Río Pirayu que tienen un bajo nivel de EC (el 21 de junio de 88 y el 10 de enero de 89). En cambio, en el fondo de la estación 49 se observa frecuentemente el efecto del alto nivel de EC del Río Yuquyry.

Excluyendo los meses en que obviamente hay efectos de ambos ríos, se registran con mayor frecuencia los valores mínimos en la estación 4, y en la 49 se encuentran los valores máximos. Sin embargo, no hay diferencia en el valor de EC tanto en la capa superficial como en la capa inferior de ambas estaciones (95% de probabilidad). Se considera que la calidad de aguas del Lago es constantemente homogénea por el efecto de advección y difusión.

Como una referencia, se dan gráficos de distribución de la EC en la capa superficial del Lago en marzo y diciembre (Figs. S6.4.2 y 3).

4-2-2 Distribución vertical de la calidad de aguas

1) EC y Cl- en las capas superiores e inferiores

El Lago Ypacarai tiene muy poca profundidad (promedio 2,0m) y se mezclan las capas superiores e inferiores por el viento, por lo que, la diferencia en las características físicas de ambas capas es escasa.

A continuación, se indica el grado de la mezcla vertical comparando la EC de la capa superficial y la de la inferior.

Aunque la EC de la capa inferior es levemente alta que la de la capa superior, no se nota mucha diferencia.

Estación	EC* ($\mu\text{s/cm}$)
4	1.00 ± 0.03
25	0.99 ± 0.02
49	0.98 ± 0.02
57	1.00 ± 0.01

* Valor medio para abril 20,88 a marzo 3,89

* Valor de superficie/valor de fondo

La distribución del Cl- en ambas capas, que se obtiene con el mismo método, se sitúa entre 1.02 ± 0.22 (de 0.67 a 2.08), por lo tanto, hay una buena mezcla vertical en el Lago Ypacarai.

2) Distribución vertical de otras características

La distribución vertical de unas características de la calidad de aguas del verano 89 del Lago Ypacarai se presenta en las Figuras S6.6.4 a 6.

La temperatura superficial del agua durante el verano sobrepasa frecuentemente a 30°C, registrándose una temperatura de 2 a 3° más baja en la capa situada entre 25 y 50 cm por debajo de la superficie. Sin embargo, este fenómeno desaparece en poco tiempo (Figs. S6.6.4 - A y S6.6.5-A y F).

En el Lago Ypacarai que tiene muy poca profundidad no existe la capa termoclinal durante el verano.

En lo referente al perfil vertical de la DO y el pH que tiene una relación estrecha con la actividad de producción biológica dentro del agua, durante el verano se observa una diferencia del nivel de DO y pH entre la capa superior y la inferior por la proliferación drástica de plancton en la superficie del lago.

Aparte de este efecto, por la descomposición de materias orgánicas se consume la DO de la capa inferior, por consiguiente, se encuentra una diferencia del nivel de DO entre la superficie y el fondo, especialmente cuando la temperatura está alta.

En febrero y marzo del 89 se presentó el "floreamiento de agua" en la zona meridional del lago. Como se indica en la Fig. S6.4.4-B y C, la diferencia de los niveles de DO y pH entre la capa superior y la inferior es mayor en la estación 4 que en las estaciones 25 y 49.

Durante los meses de febrero y marzo de 89 no se observó mucha diferencia en todas las características de ambas capas excepto las áreas con "flor de agua". Y también la distribución vertical de las características biológicas fué homogénea (Fig. S6.4.5-B y C).

No obstante, como indica la Figura S6.4.5-G y H, la concentración de la Chl-a en la capa superficial de las estaciones 0 y 4 es muy elevada y

la distribución vertical de DO y pH liere la misma tendencia. Se ve la misma tendencia en la Fig. S6.6.6-A y B.

A veces el efecto de las aguas del río afecta fuertemente el perfil vertical (Fig. S6.6.6-D, E y F en la estación 4).

En la estación 4 se muestran, en algunas circunstancias, las características afectadas por la afluencia de aguas del Río Pirayu. La distribución de temperatura, pH y EC del 14 de marzo de 89 es el ejemplo más representativo.

4-2-3 Tratamiento de los datos

Como se explican en los apartados 1) y 2), considerando que el lago está compuesto por una sólo área acuática y también las capas superior e inferior están bien mezcladas, se toma el valor promedio del día calculando la media de los valores de ambas capas en varias estaciones.

Sin embargo, no están incluidos los valores de la estación 0 por ser el punto de desembocadura del Río Pirayu, y también algunos registros de las estaciones 4 y 52 que hayan recibido obviamente los efectos del Río Yuquyry.

De acuerdo con las curvas de atenuación de SD y la intensidad de iluminación, la zona eufótica está situada en la superficie (de 30 a 180cm) y sería necesario tener en cuenta la zona eufótica desde el punto de vista biológico.

4-2-4 Comparación de la calidad de aguas entre el Lago y los ríos afluentes y efluentes

Al norte y sur del Lago Ypacarai existen humedales extensos y el Río Yuquyry y el Río Pirayu desembocan al lago atravesando estos humedales. En especial, el humedal por donde cruza el Río Yuquyry es muy amplio y las aguas del río se extienden dentro del humedal y luego afluyen al lago formando unos arroyos. Entre ellos, el Riacho Negro y el Río Colorado son los principales y ambos tienen casi el mismo caudal y la misma calidad de aguas.

Por otro lado, el Río Ypucu confluye con el Río Yagua Resa-u en el medio del humedal formando una amplia ribera.

1) Efecto de purificación

Actualmente los Ríos Yuquyry, Ypucu y Yagua Resa-u están gravemente contaminados y las concentraciones de TN, TP o COD están muy altas. En especial, la contaminación en el Río Yuquyry está muy avanzada. Sin embargo, las concentraciones en los cursos inferiores de los tres ríos están muy por debajo de las de aguas arriba, por lo que, se entiende que las aguas son depuradas a medida que pasan por el humedal.

La velocidad de aguas disminuye drásticamente al pasar por el humedal y se considera que el mecanismo de purificación es el siguiente:

① SS y turbiedad

Adhesión a raíces de plantas acuáticas, filtración por hidrofitas y sedimentación

② Materias orgánicas

Descomposición y depuración por microorganismos alrededor de las hidrofitas

③ Depuración del N

Desnitrificación y gasificación del $\text{NO}_3\text{-N}$

④ Depuración del P

Por el mismo efecto para SS y turbiedad y se elimina principalmente las partículas de P

Unas características químicas en los ríos, en la entrada y en la salida del lago y dentro del mismo están indicadas en las Figuras S6.4.7 a 17.

Para obtener la tasa de depuración exacta hay que realizar investigaciones teniendo en cuenta el tiempo de permanencia de las aguas de ríos en los humedales.

También se cree que hay diferencia en la tasa de depuración entre el período del caudal normal y los días después de la precipitación.

En este informe se hace una comparación entre los valores de aguas de los ríos, los de aguas afluentes y las características internas del lago para observar tanto los efectos de las aguas de los ríos hacia el lago como la relación entre las características cualitativas de aguas afluentes y aguas del Lago.

2) Relación entre las características cualitativas de las aguas de los ríos, de afluentes y del lago

A continuación se cita el resumen de esta relación.

- ① La diferencia entre las características cualitativas de aguas de los ríos y las de aguas afluentes equivale a la cantidad de depuración en humedales.
Parece ser que el efecto de depuración en el humedal del Río Yuquyry es mayor que en el humedal del Río Pirayú.
- ② La capacidad de depuración en ambos humedales es diferente (no es constante), en los días despejados y los días después de precipitación.
- ③ Los valores afluentes de $\text{NH}_4\text{-N}$, SS, TP y $\text{PO}_4\text{-P}$ son constantemente altos.
- ④ Hay mucha oscilación en el nivel del TN entre las aguas de los ríos y las de los afluentes.
- ⑤ Es probable que la diferencia del TN entre las aguas del lago y las aguas afluentes sea causada por la producción en el lago.
- ⑥ Hay variación en el $\text{NO}_3\text{-N}$ de aguas afluentes por los efectos de depuración y desnitrificación, y debido a la oxidación por el $\text{NH}_4\text{-N}$ y absorción por plancton del lago siempre existe una diferencia entre el nivel del $\text{NH}_4\text{-N}$ afluente y el del lago.
- ⑦ La concentración de $\text{PO}_4\text{-P}$ del lago es considerablemente por debajo del valor de afluencia a causa del aprovechamiento por plancton y desaparición desde aguas lacustres por adhesión y sedimentación.

- ⑧ Tanto la TCO_D como la DCO_D desembocan en el lago sin ser depuradas y la DCO_D de aguas afluyente se encuentra casi al mismo nivel que la del lago.

Por la lenta descomposición de la DCO_D, la misma permanece durante mucho tiempo dentro del lago. Por otro lado, se considera que por la producción lacustre, la concentración de TCO_D del lago es mayor que la afluyente.

- ⑨ La tasa de eliminación de SS es muy alta. Aunque aumenta levemente el valor de afluencia después de la precipitación, la mayoría de las partículas mayores de 1µm son eliminadas en los humedales.

Lo expuesto anteriormente es aplicable al año 88. A partir de enero de 89 suben todos los valores afluyentes, incluyendo el TN y el TP, quedándose al mismo nivel o mucho mayores a los promedios del lago.

En 1988 se registró un alto efecto de depuración independientemente de la precipitación y concentraciones de los ríos. No obstante, no es infinita la capacidad de purificación de los humedales. Se deduce que por el hecho de que a principios de 89 la capacidad llegó a su límite superior, disminuyó el efecto de depuración y se registraron altas concentraciones de contaminantes afluyentes.

Como se explica posteriormente (se refiere a 4-2-6-6), se incrementaron descargas orgánicas inferiores a 1µm, y consecuentemente, las sustancias principales causantes de la turbiedad del lago de 89 son posiblemente diferentes que las del año anterior.

4-2-5 Variación mensual de los registros de la observación in situ en el Lago

1) Lectura de Disco Secchi (SD)

- ① La lectura SD tiene un rango horizontal considerablemente amplio en unos días de muestreo. Cuando el valor de cada estación es más bajo que otros meses (como en abril y octubre de 88 y en febrero y marzo de 89), la lectura SD queda dentro de un rango más estrecho que durante otros meses.

- ② Durante este periodo de investigación el valor promedio de SD de cada mes mueve se entre 18 y 81 cm (Figs. S6.4.18 y 19). Las lecturas medias de los meses de abril y octubre de 88 y de febrero y marzo de 89 son más bajos que otros meses. En especial, el promedio de SD de octubre fué extremadamente bajo, siendo 18 cm.

La correlación entre el SD y la Chl-a en este lago no es muy marcada ($r = -0.55$, ver 4-2-7-1)), lo cual indica que el SD no es determinado sólo por la cantidad de fitoplancton. No obstante, se cree que el fitoplancton tuvo mucha influencia en 88 (Se refiere a 4-2-7-9).

El rango de oscilación media de SD es de 39 a 81cm, excepto el 27 de octubre cuando se registró un valor muy bajo de 18cm, situado por debajo de la línea de correlación en la parte izquierda inferior y siendo muy bajo el nivel de SD comparado con la cantidad de Chl-a. Durante tres días antes del 27 de octubre soplaron vientos muy fuertes y los sedimentos del fondo quedaron levantados transformado en gris el color del lago. Durante este período mucha cantidad de sedimentos mezclaron con SS y la IL del SS quedó por debajo de otras variables, por lo que, evidentemente la causa principal de la disminución de SD es por sedimentos.

Al mismo tiempo, los registros de febrero y marzo de 89 se situaron por debajo de la parte izquierda de la línea de SD y Chl-a, por ser baja la lectura de SD de 25 y 23cm, respectivamente. La IL de SS en estos meses fué baja, y también fué reducida la tasa de mezcla de sedimentos y existían muchas partículas menores a $1\mu\text{m}$ durante estos meses. Se cree que bajó el nivel de SD, no principalmente por la cantidad de fitoplancton o sedimentos residuales del fondo, sino por descargas de materias orgánicas de difícil disolución desde los ríos transformando el color del Lago en gris.

2) Temperatura del agua

La temperatura superficial del lago cambia de acuerdo con la temperatura del ambiente y oscila entre 15.3 y 32.0°C según estaciones (Figs. S6.4.21).

La cantidad de Chl-a es reducida durante los meses de enero y septiembre cuando la temperatura del agua es baja, lo cual indica que la producción de fitoplancton es inactiva.

Al ver la distribución vertical de la temperatura del verano de 89, no hay mucha diferencia de temperatura entre la capa superior y la inferior. Debido a la poca profundidad del lago, las capas superior e inferior están bien mezcladas. Por lo tanto, que no hay formación de capas termoclinales aun en verano (Fig. S6.4.4 a 6).

3) DO

El DO medio en la superficie fue muy alta en 1988 y los resultados de los primeros cuatro días están distribuidos dentro de un rango horizontal muy amplio.

El DO de invierno es mucho más reducida que en verano.

El promedio del DO saturado fué siempre por encima del 100% antes de diciembre 88. El valor bajo a 7.3 mg/l (96%) en enero de 89 y después descendió paulatinamente hasta 6.3 mg/l (82%) en marzo de 89.

En todas las estaciones, el DO en la capa del fondo es siempre considerablemente más baja que en la capa superficial y muy pocas veces fue saturada.

- ① Como se ha mencionado anteriormente, el promedio de DO es bajo pero se sitúa por encima de 4.5 mg/l (el 58%). Por lo tanto, no existe el estado anaeróbico completo aún en el fondo del lago.
- ② El patrón de variación de DO es parecido al de Chl-a de capa superior. La concentración de DO fue baja durante los meses de enero a septiembre cuando la concentración de Chl-a fué reducida (Fig. S6.4.7 a 9).
- ③ Sin embargo, a pesar de que la concentración de Chl-a en 89 estuvo en el mismo nivel o superior a la de invierno, bajó notablemente el DO sin ser saturado.

- ④ En este caso, el contenido del SS en el agua fue abundante, pero se considera que el SS está compuesto por materiales orgánicos, no por fitoplancton (ver 4-2-7-9). También los altos valores del TR, de partículas menores de 1 μm , de la IL, del DON y del DOP indican que durante este período el consumo de DO por la descomposición de materias orgánicas fué mayor que la producción de la misma por la fotosíntesis.

De vez en cuando hay mucha diferencia entre el DO de la superficie y del fondo. Se estima que el plancton no siempre mueve con la corriente del agua, y por el rápido avance de la fotosíntesis en la superficie, aumenta esta diferencia.

Esta estimación sería respaldada por los efectos de que, en las estaciones que tienen mayor diferencia de DO entre las capas, la concentración de Chl-a en la superficie es considerablemente más alto y la diferencia disminuye durante el invierno.

4) pH

- ① El pH de la capa superior tiene un valor considerablemente alto y abarca un rango muy amplio en los días de muestreo de febrero a octubre de 88 y de enero de 89 (Figs. S6.4.10 y 11). Sobre todo, el pH fue mayor que 9.0 en todas las estaciones en los días 2 y 22 de marzo de 88, siendo un promedio de 9.4 y 9.6 respectivamente.
- ② El pH del fondo es levemente bajo que el de la superficie. Únicamente hubo un caso en septiembre de 88 en que el promedio del pH del fondo fué el mismo que el de la superficie. No obstante, el valor mínimo del fondo fué más alto que el de la superficie.

Los altos valores del pH desde el verano hacia el invierno de 88 corresponden bien con los elevados niveles de la concentración de Chl-a y DO, y se entiende que la fotosíntesis en la superficie es muy activa.

Se considera que la bajada del pH en febrero y mar 20 de 89 se debe a la reducción de las actividades de fotosíntesis.

5) EC

De acuerdo con los mismos datos de muestreo, la EC del lago es uniforme tanto en el sentido horizontal como en el vertical y se cree que por los efectos de advección y difusión las características físicas fueron homogenizadas (Fig. S6.4.12 y 13).

La EC del lago oscila conforme con el nivel de la EC en Yuquyry Boca. La EC de Yuquyry Boca cambia dependiendo de la EC del Río Yuquyry, por lo tanto, la variación mensual de la EC en el lago es fuertemente influenciada por las EC de los ríos.

4-2-6 Variación mensual de las características químicas y biológicas

1) Fósforo

① TP

- (1) La concentración TP tiende a ser alta en verano y baja en invierno. La concentración del verano de 89 fue mucho más alta que la de 88 (Figs. S6.4.14).
- (2) Es probable que la capacidad de purificación de humedales se haya reducido. No obstante, a pesar de que las concentraciones del TP en los ríos son bajas, los valores afluentes son altos. Se cree que, aparte del efecto de estos altos valores sobre la concentración del TP del lago, hubo elución del PO_4-P desde sedimentos del fondo por subida de la temperatura.
- (3) Aunque fueron registrados unos valores excepcionalmente altos, no hubo ninguna coherencia en las causas. Posiblemente el alto nivel del TP del 20 de abril 88 fue provocado por afluentes de los ríos, ya que se registró una considerable cantidad de precipitación en los días 12 y 19, y además, las concentraciones del TP en los ríos afluentes, en Yuquyry Boca y en la estación 0 fueron altas y se observaron caudales grandes en los ríos.

② PP

La concentración del TP del 27 de octubre fué alta, y en especial, el nivel del P en partículas fue notablemente elevado. Este efecto es muy diferente de los otros meses. Se cree que, por vientos fuertes durante 2 días antes de la fecha de observación, se levantaron lodos del fondo y las PP que se encontraban absorbidas o sedimentadas en el lecho se mezclaron con las aguas.

Los resultados del análisis del PP de sedimentos del Lago Ypacarai son los siguientes.

unidad: mg/g-dw

Estaciones	27/Oct/88	3/Mar/89
25	0.618	6.34
49	0.480	3.84
Media	0.549	5.09

Se cree que la diferencia del PP entre el 27 de octubre de 88 y el 3 de marzo de 89 corresponde con la cantidad de regresión de sedimentos hacia el agua por el efecto de levantamiento.

Cuando la concentración de Chl-a es relativamente alta (16 de febrero, 20 de abril y 27 de octubre de 88), el nivel de la PP es alto. Se estima que la mayoría de PP es fitoplancton.

Es probable que esta alta concentración del 27 de octubre contenga mucha cantidad de PP del fondo y fitoplancton.

Durante el invierno cuando la producción de fitoplancton es reducida (de junio a agosto de 88), hay tendencia a bajar la concentración de PP, por lo cual, la mayoría de las PP son fitoplancton producidos dentro del Lago.

En las estaciones 0, 3/4 y 4 donde se presentó "floreCIMIENTO" en febrero de 89, la concentración de la PP fue alta y ocupaba

un elevado nivel dentro del TN (del 77 al 49%). Se deduce que la mayoría de PP son fitoplancton.

③ PO4-P

- (1) La concentración de P04-P fué baja y veces registró 0 en todas las estaciones desde el comienzo de la investigación hasta enero de 89 (Figs. S6.4.30 y 31).
- (2) En contraste a los valores registados antes de enero de 89, en febrero y marzo de 89 fueron marcados extremadamente altos valores en todas las estaciones. Sin embargo, éstos quedan dentro del rango de limitación.
- (3) Antes de enero de 89 la concentración del lago estuvo siempre por debajo del valor afluente de Yuguyry Boca y se cree que hubo aprovechamiento de plancton durante el verano, ya que la concentración de Chl-a fue también alta durante este periodo.
- (4) Sin embargo, durante el invierno la concentración del P04-P del lago fue baja, oscilando entre 0 y 15 µg/l. Como la Concentración de Chl-a es también baja, se cree que esta diferencia con el valor de afluencia es atribuible a la absorción o sedimentación del P04-P, sin ser utilizado para la producción de fitoplancton.
- (5) A partir de diciembre los valores afluyentes comenzaron a incrementar notablemente, a pesar de que los valores del Río Yuguyry no fueron tan elevados. Probablemente este hecho está reflejando la reducción de la capacidad de depuración de humedales.
- (6) Es de deducir que el notable aumento de la concentración del P04-P del lago fue provocado por el bajo aprovechamiento del P04-P para la producción de fitoplancton, a pesar de la continua afluencia de los valores altos, y por la elución de sedimentos del fondo por efecto de la subida de la temperatura.

Este alto nivel de la concentración de $PO_4\text{-P}$ coincide relativamente bien con el promedio de los resultados de ICB de 1984: $113\mu\text{g/l}$. El resultado de los estudios de SENASA de 1981 y 1982 fue de 0 a $510\mu\text{g/l}$. Es probable que aumente la concentración de $PO_4\text{-P}$ a partir de marzo de 1989.

2) Nitrógeno

La distribución de TN abarca un rango considerablemente amplio en el sentido horizontal. Sobre todo, diferencia entre el valor máximo y el mínimo en septiembre de 88 fué muy grande, siendo $3,721\mu\text{g/l}$. Durante este mes fué registrado un promedio extremadamente alto de los valores máximos (Fig. S6.4.33).

- ① TN : Por la diferencia en la concentración y las proporciones de varias formas del N que compone el TN, se divide la variación mensual del TN del lago en dos etapas ; antes de diciembre de 88 y los tres meses de 89.

Aunque el TN de 88 es un poco más alto que el TN afluyente del Yuquyry Boca, existe una buena correlación entre los dos valores.

En el 27 de septiembre cuando fué registrado el TN excepcionalmente alto en el Río Yuquyry, el valor de Yuquyry Boca fué elevado y consecuentemente subió el promedio del TN del Lago. En el 27 de octubre fué registrado el TP extremadamente alto debido principalmente al levantamiento de sedimentos del fondo y a la producción de fitoplancton. El valor de TN del 27 de octubre fué más alto que otros meses en algunas estaciones, pero, la excepcionalmente alta afluencia de TN del 27 de octubre sobre el valor del lago fué más fuerte en el 27 de octubre.

En 89, en cambio, aunque hay una buena correlación entre el TN del Lago y el TN de entrada, el TN del Lago aumenta con el paso del tiempo a medida que sube el valor de entrada. En especial, el registro de marzo de 89 es muy elevado.

Durante este período, la PON fué reducida y la DON mostró una tendencia a la baja durante el invierno cuando la producción de plancton fué menor.

- ② $\text{NH}_4\text{-N}$: Igual que el TN, se divide en dos etapas; los meses de 89 y 89.

El $\text{NH}_4\text{-N}$ del invierno de 88 es levemente bajo, pero no es tan notable y tanto la concentración como la cantidad quedan en el mismo nivel.

Sin embargo, se observa un aumento notable en enero de 89. Las causas principales de este elevado nivel del $\text{NH}_4\text{-N}$ serían ; incremento del valor de afluencia, aceleración de la descomposición del $\text{NH}_4\text{-N}$ por un alto valor de DON por la subida de la temperatura y poca absorción de $\text{NH}_4\text{-N}$ por plancton. Se estima que la absorción de IP durante este período es baja, por lo tanto, la producción de fitoplancton es reducida.

- ③ $\text{NO}_3\text{-N}$: La concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ desde el verano hacia el invierno de 88 fué unas cuantas veces mayor que la de $\text{NH}_4\text{-N}$. No obstante, su valor bajó paulatinamente y casi se situó en el mismo nivel que $\text{NH}_4\text{-N}$ durante agosto y diciembre. La concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ bajó a 0 en diciembre.

No obstante, en el 27 de septiembre el valor de $\text{NO}_3\text{-N}$ y otros estados de N fueron excepcionalmente altos tanto en los ríos como en el lago.

Al principio de 89, la concentración del $\text{NO}_3\text{-N}$ comenzó a aumentar drásticamente junto con otros estados del N y volvió al nivel del verano de 88.

El $\text{NO}_3\text{-N}$ es utilizado tanto para la oxidación del $\text{NO}_2\text{-N}$ como para la desnitrificación y es una fuente del N para la proliferación de plancton y su oscilación del nivel es complicado.

Sin embargo, la variación del $\text{NO}_3\text{-N}$ del lago tiene un patrón parecido al del $\text{NO}_3\text{-N}$ afluente.

3) COD

- ① TCOD : Bajó desde el verano hacia el invierno de 88 y después se quedó en el mismo nivel (Fig. S6.4.37 y 38).

El valor de afluencia es menor que el del lago por la producción lacustre en forma de plancton o regresiones de sedimentos del fondo.

En el octubre 27 de 88 fué registrada una TCOD excepcionalmente alta. Se deduce que hubo una adición de la TCOD de sedimentos del fondo por el levantamiento de éstas.

- ② PCOD : Oscila en el orden de 3 a 16mg/l. Excepto una o dos ocasiones, el valor del lago se sitúa siempre en el orden de 1 a 10 mg/l por encima del valor de afluencia.

La mayoría de la PCOD es generada por la producción de fitoplancton en el lago. A parte de la adición por el levantamiento de sedimentos del fondo que se presentó en el 27 de octubre de 88, no se vé una correlación satisfactoria con la variación de Chl-a.

- ③ DCOD : El valor del lago es un poco bajo que la DCOD afluente que entra al lago sin ser purificada en humedales. Probablemente por la descomposición de la DCOD se presenta esta diferencia. Sin embargo, la descomposición es muy limitada y además el coeficiente de descomposición de DCOD es muy pequeño ($k = 0.16/\text{día}$, $C_t = C_0 \cdot e^{-k}$). El componente principal de este tipo de materiales orgánicos de difícil disolución es el ácido húmico.

La DCOD del 27 del octubre de 88 fué muy alta, esto se supone que, se debe al levantamiento de sedimentos del fondo.

La COD de fluidos de los poros de sedimentos del fondo y la COD del agua fueron como se muestra a continuación.

Tabla COD en el fluido de poros y en la capa de aguas en el lago

(mg/l)	St.25		St.49		Boca Salado	
	a	b	a	b	a	b
TCOD	121	39	299	56	3,099	78
PCOD	37	14	159	28	224	43
DCOD	84	25	140	28	2,875	35

a: fluido de poros b: media de las capas superior e inferior

La concentración de COD de fluidos de los poros de sedimentos del fondo es mucho mayor que la del agua. Se cree que la COD de aquellos se levantaron junto con sedimentos del fondo y se mezclaron con la COD del agua. Esta estimación sería respaldada por la coincidencia de proporción de cada estado de COD entre fluidos de los poros y capas acuáticas.

A pesar de que la TCOD de febrero y marzo de 89 mantuvo el mismo valor, se incrementó la concentración de DCOD. Durante este período aumentó la cantidad de materias orgánicas de difícil disolución y por ello se convirtió en gris oscuro el color del lago en febrero y marzo de 89.

Este fenómeno es respaldado por el hecho de que el resultado de substación de SS-IL desde TR-IL (o sea, materias orgánicas menores de 1 μ m) del agua afluyente y del lago fué alto.

4) BOD

Aunque no hay muchas mediciones de la BOD, el promedio del lago es de 2.5 a 4.3mg/l, siendo constantemente más alto que en Yuquyry Boca (1.7 a 3.3 mg/l) y en la estación 0 (1.1 a 2.7 mg/l). Se cree que por

la producción de materias orgánicas en el lago se originó esta diferencia.

Parece ser que los valores de afluencia y del lago son más bajos que los de materias orgánicas estimadas por otros valores analíticos. Permanece bajo el valor de BOD, posiblemente por la dificultad de descomponer una gran cantidad de compuestos de nitratos afluidos a la cuenca de Ypacarai durante los 5 días de la prueba de BOD.

5) Chl-a

Fué alta la concentración de Chl-a en el verano de 88, en cambio, fue bajo durante el invierno (Figs S6.4.23 y 24). Esta tendencia corresponde bien con el patrón de variación de DO, pH, PP y PON. Sin embargo, a pesar de una suficiente cantidad de PO₄-P y IN y una alta temperatura del agua durante el verano de 89, la concentración de Chl-a permaneció en el mismo nivel que el invierno de 88 y además el DO y el pH fueron bajos. Con ellos se estima que la producción de fitoplancton no fué muy activa (Figs. S6.4.39 y 40).

Las causas de la disminución de la eficiencia del aprovechamiento de la luz y la consecuente reducción de la producción serían por la afluencia continua y acumulación a lo largo de todo el año de materias orgánicas de difícil disolución como el ácido húmico; el incremento drástico de descargas orgánicas en partículas menores del 1µm y por el cambio del color del lago en gris oscuro por la presencia de residuos de sedimentos del fondo por el efecto del levantamiento por los vientos de primavera.

Sin embargo, por la existencia de una suficiente cantidad de IN y IP se presentaron "florecimientos" cerca de la superficie de las zonas donde se observó una alta concentración de Chl-a (Ejemplo, estaciones 0,3 y 4 el 15 de febrero 89).

Las causas de contaminación interna del lago son ; ① alta producción de plancton y restos de los mismos, ② residuos de sedimentos levantados del fondo, ③ afluencia y residuos de materiales orgánicos de difícil disolución (ácido húmico). Se deduce que en 88 la causa principal fue ①, en cambio, en 89 la causa más importante fué ③.

Los SS del lago contienen contaminantes orgánicos como plancton, no obstante, los sedimentos del fondo y partículas orgánicas no compuestos por plancton están incluidos en los SS, por lo tanto, la correlación entre la Chl-a y el SS del lago no es tan alta.

En Febrero y el 2 de marzo de 88 se observó una alta concentración de la Chl-a y además hubo una buena correlación con el SS (4.2.6-3), se entiende que la mayoría de los SS fueron compuestos por fitoplancton.

La relación entre el SS y la Chl-a de los plancton compuestos principalmente por cianofita es : $\text{Chl-a} / \text{SS} = 15.1 \text{ } \mu\text{g}/\text{mg}$ (febrero 89).

Aunque no se sabe si el estado interno del lago vuelva al de 88 o siga el estado de febrero y marzo de 89, mientras el color del lago mantenga el tono de 89, se deduce que la concentración de Chl-a permanecerá en un nivel bajo (menor producción de plancton), la ③ será la causa principal de contaminación del lago.

6) SS y TR

La concentración de SS varía dependiendo del mes y de la estación de muestreo (Figs. S6.4.41 y 42). Sin embargo, fue observada una tendencia de que los valores altos de SS fueron encontrados en la parte noreste del lago al inicio de la investigación. Y después los valores altos se trasladaron hacia el lado suroeste antes de finalizar la investigación. Las áreas donde se observó un alto nivel de SS están relativamente relacionadas con los sitios de "floreamiento de agua", no obstante, la correlación entre el valor de SS y la concentración de Chl-a no es tan alta.

- ① SS : Se considera que los SSs del lago contienen componentes afluyentes de ríos, plancton vivos y muertos y residuos de sedimentos levantados desde el lecho por vientos

La mayoría de los SS afluyentes de ríos son eliminados dentro de humedales excepto el período de mayor precipitación (de octubre a noviembre de 88) y durante el verano de 88. La diferencia entre los valores de afluencia y los del lago es probablemente causada por la producción dentro del lago (Fig. S6.4.17).

En la figura S6.4. se encuentra la relación entre los promedios mensuales del SS y los de la Chl-a. La línea inferior indica la relación entre el SS y la Chl-a de fitoplancton compuestos principalmente por cianofitas ($\text{Chl-a} / \text{SS} = 15.1 \mu\text{g}/\text{mg}$, en febrero de 89). Con esta figura se entiende que los SS no son compuestos sólo por plancton en todos los meses. En especial, la concentración de SS del 27 de octubre es más alto que la de Chl-a.

Durante los meses de febrero, marzo y abril de 88 se presentó "floreCIMIENTO de agua", lo que nos lleva a pensar que hubo muchos plancton dentro del SS.

- ② Procentaje de mezcla de sedimentos en el SS:

El lago tiene muy poca profundidad, siendo unos 2.0m de promedio. Y además es posible que se levanten los sedimentos por vientos de unos 3 m/s. Evidentemente, el alto nivel de SS del 27 de octubre contiene sedimentos mezclados.

Se ha calculado el porcentaje de sedimentos mezclados dentro de SS.

Al suponer que la pérdida de ignición del sedimento es del 20% y la parte orgánica (se supone que está compuesta en su totalidad por fitoplancton) determinada por la pérdida de ignición del SS es del 80% (Tabla

S6.4.3), la tasa de mezcla del 27 de octubre es representado como la siguiente:

Sedimentos mezclados son ; x mg/l

El SS no compuesto por sedimentos es ; y mg/l

$$x + y = 59.6$$

$$x = 34.6 \text{ mg/l}$$

$$0.2x + 0.8y = 26.9$$

$$y = 25.0 \text{ mg/l}$$

<Por lo tanto, el porcentaje de mezcla de sedimentos en el SS es del 58%.>

Igualmente, por los cálculos se obtienen los siguientes resultados :

El porcentaje de mezcla del 21 de junio es de 2.2 mg/l, ocupando el 34% del SS.

El porcentaje de mezcla del 18 de agosto es de 8.7 mg/l, siendo el 40% del SS.

En el cálculo se supone que toda la pérdida de ignición es causada por fitoplancton, por lo tanto, el resultado estaría un poco sobreestimado (Tabla S6.4.4).

- ③ TR : La concentración del TR del lago comenzó aumentar paulatinamente a partir del 21 de junio de 88 (107 mg/l) e incrementó hasta 245 mg/l en el 3 de marzo de 89.

A diferencia de la distribución local del SS, la de TR es uniforme.

La concentración del TR afluente de ríos es casi constante a lo largo de todo el año y el promedio de la concentración del lago de 88 fue levemente más bajo que el de la afluente. Sin embargo, la concentración del lago de 89 se elevó hasta casi el mismo nivel que la afluente.

Por la descomposición de partes orgánicas en el agua del lago la concentración de TR fué baja en 88 ; sin embargo, en 89 se disminuyeron considerablemente las partes descompuestas y se quedó dentro del lago una alta

concentración de partículas orgánicas menores de 1 µm.

Tabla TR, IL y SS en el Lago

	Jun 21	Aug. 18	Oct. 27	Feb. 15. 1989	Mar. 3. 1989
TR (mg/ℓ)	107 ± 8	137 ± 8	171 ± 36	223 ± 16	245 ± 22
IL (mg/ℓ)	62	76	69	95	139
% to TS	58	55	40	43	57
SS (mg/ℓ)	6.5	21.9	59.6	23.7	37.0
% to TS	6	16	35	11	15
TR-SS (mg/ℓ)	100.5	115.1	111.4	199.3	208.0

Los valores afluentes de TR y IL de 89 fueron distintos que los de 88. Como indica la tabla, hay una diferencia en el nivel del TR del lago.

Por la alta concentración de TR en el lago, por la mayor cantidad de materiales orgánicos, por el aumento en 89 de partículas menores de 1 µm (promedio de 89 de 109 mg/l), por alto contenido de partes orgánicas menores de 1 µm de partículas (promedio de 88; 54.6 mg/l, marzo 89; 116.0 mg/l), es evidente que se ha incrementado materias orgánicas de difícil disolución con mayor tiempo de permanencia en las aguas del lago. Probablemente por este efecto se convirtió en gris oscuro el color del lago en el verano de 89 y es una de las causas de contaminación del lago.

④ Diámetro y porcentaje de partículas en las aguas del lago

En cuanto al diámetro y el porcentaje de partículas de aguas del lago en junio 88 cuando la concentración de SS fué baja por ser invierno, el tamaño de partículas en Yuquyry Boca fué mucho menor que en el lago por lo tanto, se entiende que la mayoría de las partículas del lago son producidos dentro del lago (Tabla S6.4.5)

En ninguna de las estaciones de 0 a 49 se observó el "florecimiento" y hubo una distribución homogénea del tamaño de partículas.

7) Cl-

El valor de afluencia desde Yuquyry Boca es constantemene alto. Sin embargo, la concentración del lago es extremadamente baja por la dilución. Existe una buena coherencia en los patrones de distribución de ambos sitios (Fig. S6.4.44).

El valor en Yuquyry Boca es más alto que el del Río Yuquyry y siempre refleja el valor del éste. No obstante, no hay gran oscilación como en el Río Yuquyry, ya que recibe el efecto de estabilización de humedales.

En cuanto a la distribución vertical de Cl - que no afecta a la procucción en el lago, la concentración de Cl - en la capa superior es ligeramente mayor que la capa inferior.

Por lo tanto, se entiende que hay una buena mezcla vertical en el lago.

8) Número de Coliformes Fecales

Una mayor concentración de bacterias de coliformes fecales fue encontrada en las desembocaduras del Río Yuguyry y del Río Pirayuy (de 40 a 84/100 ml) al compara con la del lago (Fig. S6.2.12).

El número de coliformes fecales de los tres ríos afluyentes es mucho mayor que el del lago. La elevada cifra en las desembocaduras de los ríos indica que existe una considerable cantidad de bacterias coliformes residuales dentro de las aguas del río.

4.2.7 Relaciones entre las características seleccionadas de la calidad de aguas

La contaminación del lago es causada por la presencia de varios fenómenos tales como ; la propagación de algas por la eutroficación, levantamiento de sedimentos del fondo por vientos, y residuos de materias orgánicas de difícil disolución.

A continuación se describen las relaciones de estos factores que fueron observados en el lago.

1) SD y Chl-a

El SD no sólo depende de la Chl-a, sino también de sedimentos levantados del fondo y otros factores CSS o sustancias disueltas).

La correlación entre el SD y la Chl-a es relativamente alta en el 16 de febrero de 88 ($\gamma = -0.90$) (Fig. S6.4.46). En este día no se presentó el levantamiento de sedimentos del fondo y hubo producción de fitoplancton en una extensa área del Lago.

En otros meses la correlación de los promedios mensuales fue bastante baja ($\gamma = -0.12$). Por ejemplo, en el día 27 de octubre se observó el levantamiento de sedimentos y durante los meses de febrero y marzo de 89 empeoró el SD por oscurecimiento del color del lago.

Al eliminar los valores del 27 de octubre y febrero y marzo de 89, $\gamma = -0.55$ (Fig. S6.4.46).

2) SD, SS y TR (Ver Fig. S6.4)

En el Lago Ypacarai hay relativamente buena correlación entre SD, SS y TR. Lo destacable de esta correlación es que el TR de octubre es bajo a pesar de estar relativamente alto el SS (Fig. S6.4.47).

Durante los meses de febrero y marzo de 89, el nivel de SS es bajo a pesar de un alto valor de TR.

3) SS y Chl-a (Ver Fig. S6.4)

Debido a la poca profundidad del lago, se cree que se levantan sedimentos del fondo por un viento de 3 m/s (Informe suplementario VII), por lo tanto, se considera que el SS contiene muchos sedimentos levantados.

Como se describe en 4.2.4.6), la correlación entre el SS y la Chl-a es baja, no obstante, se ve una correlación en el 16 de febrero y el 2 de marzo de 88 (Fig. S6.4.48).

La línea discontinua del gráfico indica la correlación entre SS y Chl-a de fitoplancton (principalmente cianofitas) del lago en febrero de 89.

4) POP y Chl-a

La relación entre POP y Chl-a no es tan alta ($\gamma = 0.54$), lo cual indica que existe una considerable cantidad de POP no derivada de plancton (Fig. S6.4.49).

El POP de fitoplancton (compuesto principalmente por cianofitas) es de 0.9 Chl-a ($\mu\text{g/l}$) (Tabla S6.4.3). Supuestamente por la muestra mixta de plancton (diatomea, etc), se cree que la línea del gráfico es por debajo de 0.9.

5) TN y TP

Se ve una fuerte correlación entre los valores promedios mensuales de TN y TP, excepto los valores de abril y mayo de 88 ($\gamma = 0.75$). En el 27 de septiembre el valor de afluencia de nitrógeno fue alto y se observó un nivel del nitrógeno excepcionalmente elevado en el lago, en cambio, el valor de afluencia del P del 20 de abril fue mayor, debido a una gran cantidad de precipitación anterior, por lo tanto, no se observó la correlación entre el TN y el TP del lago en ninguno de estos dos meses (Fig. S6.4.50).

La concentración del fósforo de 88 fue menos que los años anteriores y el nitrógeno estaba saturado.

N/P por peso es de 15.4 (9.9 a 24.2) frente a 6.8 del 20 de abril por estar saturado el P, y 42.3 en el 27 de septiembre por estar saturado el N.

El pH del verano de 88 mostró un valor considerablemente alto en la superficie del lago por una activa fotosíntesis; sin embargo, no hubo buena correlación con la concentración de Chl-a.

6) pH y Chl-a

El valor del pH es considerablemente alto en la capa superior, evidentemente por el resultado de una activa fotosíntesis en el verano de 88.

Sin embargo, la correlación con la Chl-a es baja (Fig. S6.4.51).

Se ve una correlación relativamente buena en el 22 de marzo y el 27 de octubre de 88. Al excluir la concentración de Chl-a en febrero de 89 que fue muy diferente de otros meses (Fig. A), el valor del pH es constante, situándose alrededor de 7. La distribución general se encuentra en la Fig. B.

7) Intensidad de la luz, SS y profundidad

La Fig. S6.4.52 indica la atenuación de la luz dentro de las aguas del lago. Aunque la intensidad de la luz en la superficie del 27 de febrero de 89 fué alta, se presentó una atenuación precipitada y la intensidad de la luz de la capa muy superior de las aguas redujo al 1% de la de la superficie, siendo 40 cm en la estación 25 y 43 cm en la estación 49. La lectura de Secchi Disk fue de 15 cm (estación 25) y de 20 cm (estación 49) coincidiendo con la relación teórica entre el SS y la profundidad que la intensidad de la luz reduzca al 1% de la de la superficie.

La relación entre la concentración del SS en la superficie y la profundidad que la intensidad de la luz corresponda al 1% de la superficie está indicada en la Fig. S6.4.53-A. El valor del 27 de febrero de 89 en la estación 49 (A) fue una excepción.

También, en el 27 de febrero de 89 en las estaciones 25 (■) y 49 (A), la correlación entre la intensidad de la luz en la superficie y la profundidad que la misma reduzca al 1% de la superficie fue diferente que otros casos (Fig. B).

La correlación del 15 de febrero de 89 (⊙) coincide bien con la del mes de julio de 88. Durante los meses de febrero y marzo de 89 se convirtió en gris el color del lago, siendo diferente que 88 la condición del lago con el coeficiente de atenuación marcadamente alto.

8) Turbiedad y SD

La figura S6.4.54 indica la relación entre la turbiedad y el SD. Los puntos en la parte izquierda inferior (⊗) fueron registrados en el 15 y el 16 de febrero de 89. A pesar de que la turbiedad fué baja, la transparencia fué reducida, siendo diferente que otros meses.

9) Porcentaje de mezcla de sedimentos, SD, SS y Chl-a

Como se indica en 4.2.4-6, se han realizado cálculos sobre el porcentaje de mezcla de sedimentos en los días 21 de junio, 18 de agosto, 27 de octubre de 88, 3 de marzo de 89 y 19 de octubre de 88 (una muestra de Areguá) (Tabla S6.4.5). Se ha calculado la tasa de mezcla de sedimentos en TR suponiendo que un promedio del 70% de los sedimentos tienen el diámetro mayor de 1 μ m.

La correlación entre el SD, el porcentaje de mezcla de sedimentos en SS y el contenido de sedimentos en SS es bastante buena, excepto marzo de 89.

Fué investigada la relación entre el 80% del contenido de SS (del cual fué substraída la cantidad de sedimentos calculados) y la Chl-a. "(SS - sedimentos) \times 0.8" equivale a la parte orgánica del SS. La correlación de estas variables sin incluir el resultado de marzo 89 es de 0.83, siendo una correlación muy alta. El componente principal de material orgánicos del SS, sin considerar sedimentos, sería fitoplancton.

4.2.8 Comparación de la calidad del agua entre 1988 y 1989

Se ha ejecutado la investigación del del lago desde febrero de 88 hasta el principio de marzo de 89. El estado del lago de 88 fué diferente que los años anteriores, ya que el color no fue de gris oscuro, la transparencia fue alta y la cantidad de plancton fué abundante. Y también la alta concentración del N y la baja concentración del P fueron excepcionales.

Sin embargo, en febrero de 89 se convirtió el color del agua en gris oscuro. Aunque no hubo cambio en la concentración del N, subió notablemente la concentración del P, siendo muy diferente que las condiciones del lago de 88.

Un resumen de los estados del lago en 88 y 89 (febrero y marzo) se encuentra en la Tabla S6.4.6.

Hay tres posibles causas de contaminación de las aguas del lago.

- ① Gran producción de fitoplancton por eutroficación y restos sin vida de los mismos.
- ② Materiales residuales en las aguas del lago por el levantamiento de sedimentos del fondo por vientos.
- ③ Afluencia y residuos de materiales orgánicos de difícil disolución como el ácido húmico.

De acuerdo con lo expuesto hasta ahora y con los resúmenes de las tablas, se estima que la causa principal de contaminación del lago de 88 es por ①, alta productividad de fitoplancton producida por eutroficación y restos de plancton.

Siempre se encuentra una cierta cantidad de residuos de sedimentos del fondo levantados por vientos, ②. Cuando hay mucho viento, levantamiento de sedimentos residuales es la causa de contaminación más fuerte que por plancton (octubre 88).

Aunque siempre existen residuos de materias orgánicas de difícil disolución como el ácido húmico de ③, en 88 no hubo mucha cantidad.

Al observar los 2 meses de 89, se redujo la capacidad de depuración de humedales y aumentó la descarga de materias orgánicas de difícil disolución como el ácido húmico y sales nutrientes, por consiguiente, cambió el color del agua y se observó la fotosíntesis solamente en la superficie del lago. Apesar de que las concentraciones de N y P fueron altas, la producción de plancton fué reducida. Por otro lado, la velocidad de viento fué baja y no hubo muchos residuos de sedimentos levantados del fondo. En este sentido, la causa principal de la contaminación de 89 fue ③.

Aunque no se sabe por el momento si se continua el estado actual a partir de marzo de 89 en adelante, es probable que se presente, en cualquier momento, la contaminación del grado actual, si se aumenta la cantidad de descargas contaminadas desde los ríos afluyentes rebasando la capacidad de purificación de los humedales.

4.3 Comparación con los datos existentes

Se han comparado los datos de esta investigación de 1988 y 1989 con los estudios realizados por SENASA entre 1981 y 1982 y los resultados de investigaciones de ICB en 1984.

	1988	1989	1981 - 82	1984
SD (cm)	39-88	23-25	—	7-15
DO (%)	72-127	67-76	6.8-9.4 (mg/ℓ)	58-98
pH	6.9-9.6	7.0-7.6	6.8-7.6	6.8-7.9
TP (µg/ℓ)	73-166	203-228	—	200-400
PO ₄ -P (µg/ℓ)	0-56	116-134	0-510	40-150
TN (mg/ℓ)	0.72-3.34	2.01-3.28	—	0.65-1.00
NH ₄ -N (mg/ℓ)	0-0.07	0.11-0.13	0.00-1.40	0.02-0.04
NO ₃ -N (mg/ℓ)	0-1.41	0.38-0.59	0.03-1.00	0.08-0.30
BOD (mg/ℓ)	1.5-6.4	1.5-4.0	0.7-1.7	—
TN/TP	6.8-42.2	10-14.4	—	3.3-4.4* (0.7-6.1)

* casos raros

De acuerdo con la tabla de arriba, parece ser que cada variable de la calidad de aguas de 88 fue diferente que la de otros años, por ejemplo ; elevado nivel de DO y pH, masiva producción de plancton y marcadamente bajo nivel de TP y PO₄-P. Aunque el TN no fue tan bajo, el NH₄-N fue relativamente reducido.

El BOD de 88 y 89 fue más alto que en 81 y 82.

En 89 el N fué un poco más alto que en 88, en cambio, el TP y el P₀₄-P fueron muy elevados.

Con esto se entiende que el estado del lago de 89 fue casi igual al el de 1988.

CAPITULO V

SEDIMENTOS EN EL FONDO DEL LAGO

5-1 Materiales y Métodos

1) Estaciones de muestreo y datos

En la Figura S5.5.1 se encuentran la estaciones de muestreo del fondo.

Estaciones E-a a E-e; en el 17 de febrero de 88, muestra de sondaje

Estación A0 -- A1	} Muestreo de sedimentos superficiales por la draga de Ekman-Birge en el 17 de febrero, 88
B1 -- B3	
C1 -- C'1	
D1 -- D5	
F1 -- F3	
G1 -- G3	
H1, H2	
X1	

Estaciones 0, 4, 27, 30, 49 e Yugyry Boca; en el 9 de julio, 88 muestreo de sedimentos superficiales por la draga de Ekman-Birge

Estación 25; en el 9 de julio 88 muestreo de sondeo

2) Ítems de análisis y métodos

Las muestras fueron transportadas a baja temperatura hasta el laboratorio y fueron analizados los siguientes ítems;

Contenido de la humedad, pérdida de ignición, N orgánico, C orgánico, medida del diámetro y su porcentaje, P orgánico y COD.

Las muestras de sondeo fueron realizadas cada 2.5 cm ó 0.5 cm de distancia para analizar y hacer la medición de cada una.

Para la medición del contenido la humedad, las muestras de las estaciones E-a -- E-e, 0 -- 49 e Yuquyry Boca fueron centrifugadas durante 20 minutos a 4,000 rpm.

Las muestras del N orgánico y el C orgánico fueron transportadas en seco hasta el Japoón para analizar por un nalizador CN.

Para la medición del diámetro y su porcentaje, las muestras (del 9 de julio) fueron cribadas y mediadas por un contador de alquitrán en el Japón.

5-2 Resultados y observaciones

1) Distribución horizontal

Aunque no se vé ninguna diferencia estacional tanto en el N orgánico y en el C orgánico como en el contenido de la humedad y en la pérdida de ignición de sedimentos de varios puntos de muestreo, los valores en las estaciones E-a y 4 son mucho más bajos que en otras estaciones (Tabla S6.5.1). La estación E-a está ubicada en un perilago cercano a Aregua donde se encuentran sedimentos lacustres con mezclas de arena. Los valores de la estación 4 indican la media de los valores del Río Ypucu y el Yagua Resa-u. Se cree que esta estación recibe muchos efectos de los dos ríos.

En la estación 30 que está situada en un perilago parecido a la estación E-a, el contenido de la humedad es mucho más alto que en la estación E-a. Sin embargo, debido a la ausencia de otros items, no es posible hacer la comparación. Por lo tanto, no es claro si los sedimentos del fondo de todas las estaciones cercanas a Areguá tengan las mismas características que en la estación E-a.

Al excluir los resultados de las estaciones E-a y 4, existe una diferencia horizontal en el contenido de la humedad y la pérdida de ignición (contenido de la humedad = 170 -- 223%, pérdida de ignición = 8.9 -- 34.3%), en cambio, no hay diferencia horizontal en el N orgánico, el C orgánico y C/N.

A continuación se indica la distribución horizontal del contenido de la humedad y la pérdida de ignición de los sedimentos sacados por la draga de Ekman-Birge (Fig. S6.5.2 y 3).

El contenido de la humedad de estas muestras fueron medidas sin someter a la fuerza centrífuga, por lo tanto, no es posible hacer comparación directa con los resultados de las estaciones E-a -- E-e y 4 -- 49.

2) Distribución vertical

Aunque no hay muchas mediciones del perfil vertical del N orgánico, del C orgánico y del C/N, parece ser que hay más diferencia entre las estaciones que entre los meses (Fig. S6.5.4).

Las estaciones E-c y 25 están situadas en el centro de la línea que se extiende del norte al sur del lago, pero hay cierta distracia entre ellas. La cantidad y el perfil de las características de calidad de estas estaciones son parecidas hasta una profundidad de 17.5 a 20 cm.

En la estación 25 no hay diferencia en el contenido de la humedad y la pérdida de ignición hasta 15 cm de profundidad. Se deduce que no hay mucha pérdida en el contenido de N y C desde 12.5 cm hasta esta profundidad.

El C/N disminuye levemente o mantiene el mismo nivel a medida que avanze la profundidad en cada estación.

El N orgánico (principalmente componentes orgánicos acumulados en los sedimentos) pertenece durante más tiempo que el carbono dentro de sedimentos en las estaciones E-a -- E-e y 25.

El tamaño de grano de sedimentos del fondo de la estación 4 es mayor que en las estaciones 25 y 49 por el efecto del Río Pirayu. La distribución del diámetro en la estación 4 tiene un pico entre 74 y 5 μm . En las estaciones 25 y 49, la tasa de diámetro es casi igual hasta 74~1 μm (Fig. 6.5.5). En las estaciones que no reciben los efectos del río, la distribución del diámetro se extiende desde 105 μm hasta 1 μm . Las partículas menores de 1 μm se levantan fácilmente dentro de las aguas, siendo una causa de aumento de la turbiedad.

3) Resultado de estudios geológicos

De acuerdo con unos estudios geológicos, se puede resumir en forma siguiente las características de los sedimentos lacustres (Informe Suplementario I): Los sedimentos principales del fondo lacustre son gran de color negro o gris oscuro y lodos de materiales suspendidos y encuentran distribuidas arenas de cuarzo de tamaños seleccionados en perilago. Se puede saber fácilmente el origen de arenas de cuarzo, si embargo, todavía existen muchos puntos desconocidos sobre el origen y proceso de formación de materiales microscópicos suspendidos de color oscuro que provocan la contaminación o empeoramiento de la calidad de las aguas.

Según el análisis de rayo X, los materiales microscópicos oscuros son minerales de arcilla de partículas de micro cuarzo de tamaño menores a limo, caolinita y montmorilonita. Los orígenes de partículas finas no orgánicas son:

- ① Disolución y elución desde el estrato de caolín en la era geológica.
- ② Elución desde fosos abiertos en la época contemporánea durante la precipitación.
- ③ Disolución y elución de minerales arcillosos intersticialmente rellenados, minerales deformados y óxidos de hierro de cuarzo y granos de feldespato que componen, areniscas rojas y camas de areniscas arcósicas, las cuales son los componentes geológicos de la cuenca.
- ④ Partículas finas secundarias producidas por la redisección de depósitos aluviales del llano.

Aunque no se sabe exactamente, se supone que por la carburación de residuos o por la gleyización bajo las condiciones reductoras, los sedimentos cobran el tono negro.

CAPITULO VI

MECANISMO DE CONTAMINACION DE AGUA

6.1 Mecanismo de la Contaminación de Agua y su Causa

6.1.1 Característica de la Contaminación de Agua del Lago Ypacarai

- ① El lago Ypacarai tiene una forma de plato y poca profundidad, la cual es aproximadamente de 2 m como promedio.
- ② El porcentaje de cambio del agua es anualmente 2~3 veces, y es una zona de agua estancada.
- ③ Hay una extensa zona pantanosa de aproximadamente 15.7km² de superficie, en la desembocadura del Río Yuquyry que es el más grande de los afluentes del lago.
- ④ El promedio anual de la temperatura de agua es de 23°C.
- ⑤ La concentración de las sales nutrientes de los ríos que afluyen es aproximadamente 0.5~3mg/ℓ de TN, y 0.05~1mg/ℓ de TP.
- ⑥ Por consiguiente, el potencial de la proliferación de algas es alto.
- ⑦ Como la profundidad de agua no es alta, el lodo de fondo recibe fácilmente la influencia de disolución y levantamiento.

6.1.2 Esquema del Mecanismo de la Contaminación de Agua

La contaminación de agua del lago Ypacarai se debe a las siguientes tres causas:

① Residuos de cargas afluidas desde ríos

- Durante el recorrido desde el origen de contaminación de la cuenca, cierta parte de la carga se sedimenta o se descompone.
- Se depura en los humedales de la desembocadura.

- En época de inundaciones las partículas se sedimentan en la desembocadura.

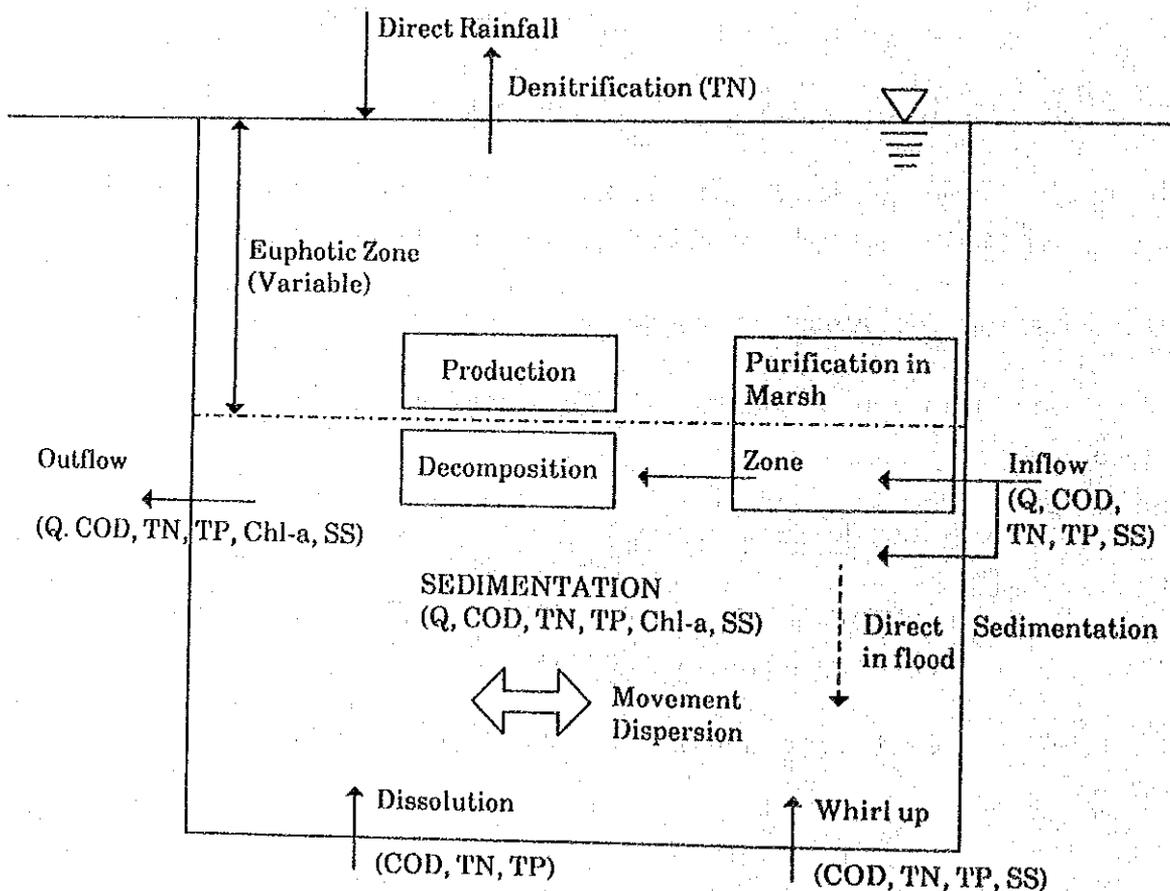
② Proliferación de fitoplancton en el lago

- La concentración de las partículas orgánicas en el lago se incrementa por la proliferación de fitoplancton que se basa en la existencia de luz y sales nutrientes.
- El fitoplancton, después de su muerte, se sedimenta, o sufre el efecto de descomposición por la bacteria.

③ Influencia del lodo del fondo

- Las materias contaminantes contenidas en el lodo del fondo se disuelven en el agua del lago a través del agua intersticial.
- Se levanta la capa superficial del lodo del fondo por la acción del viento y por la convección.

Las consideraciones arriba expuestas se esquematizan a continuación.



6.1.3 Estudios y Experimentos para Dilucidar el Mecanismo de la Contaminación

Con el fin de aclarar el mecanismo de contaminación por cada causa se llevaron a cabo la investigación y el experimento bajo los conceptos siguientes:

① Depuración en el humedal

Se consideró de que se puede comprender el efecto de la depuración en la zona pantanosa por medio de la investigación de la calidad del agua tanto a la entrada como a la salida de la zona pantanosa en cada estación.

② Precipitación en la zona de desembocadura

Generalmente se conoce que en tiempo de inundaciones cierta parte del material de partícula afluente se sedimenta en la zona de desembocadura, y no influye directamente en la calidad de agua del lago.

Para comprender este aspecto se llevó a cabo el experimento de sedimentación con probetas medidoras bajo techo después del muestreo del agua tanto del río como del lago y el lodo del fondo del lago.

③ Proliferación de fitoplancton

Lo mejor era efectuar el experimento sobre velocidad de la producción, pero como se requería de alta técnica en el control de condiciones del experimento, y además se previó de que era difícil conseguir datos altamente confiables se desistió de este método.

Por to tanto, en esta investigación se recurrió al método de O_2 y el experimento de cultivo de algas, cuyos resultados se tomaron como datos de referencia para deducir la velocidad de la producción.

Además, como la producción es afectada por la luz, se hizo la medición sobre la atenuación de la intensidad de la luz submarina in situ.

④ Descomposición de la materia orgánica en materia inorgánica

La materia orgánica en el lago, al descomponerse por la acción de la bacteria, se convierte en materia inorgánica. Para investigar la velocidad de esta descomposición se efectuó el experimento sobre la velocidad de descomposición después de extraer la muestra del agua de lago.

⑤ Sedimentación de las partículas

Con el fin de comprender la velocidad de sedimentación, de partículas del lago semidió in situ el volumen de materiales depositados.

⑥ Disolución del lodo del fondo

El material contaminante contenido en el lodo del fondo se disuelve gradualmente en el agua intersticial y permanece en el agua del lago. Para entender este fenómeno se hizo el experimento de disolución bajo techo, tras extraer una muestra de la capa superficial del lodo del fondo en el centro del lago.

⑦ Levantamiento del lodo del fondo

Se supuso que la capa superficial del lodo del fondo se levantaría por la influencia del viento y de ondas. Para estudiar este fenómeno se llevó a cabo la investigación en el lugar en la época del viento más fuerte del año (invierno).

⑧ Caída directa de la lluvia

Debido a que no se puede ignorar la carga de contaminación durante la lluvia, se tomó la muestra de lluvia en San Lorenzo, y se llevó a cabo el análisis de la misma.

⑨ Desnitrificación

Es el fenómeno en que bajo la condición anaeróbica el nitrógeno en $\text{NO}_2\text{-N}$ y $\text{NO}_3\text{-N}$ se gasifica por la acción de los microorganismos y se difunde en la atmósfera. No se realizó la investigación de desnitrificación por la ausencia de buenos métodos para determinar

este fenómeno en forma directa y además nunca se presenta la condición anaeróbica dentro del lago.

6.2 Análisis de la Causa de la Contaminación de Agua en el Lago (Análisis semi-cuantitativo)

Se considera que la contaminación del agua del lago Ypacarai, como se describió en la cláusula anterior, se debe fundamentalmente a tres elementos: ① cargas afluentes residuales, ② la eutroficación en el lago, y ③ la influencia del lodo del fondo.

A continuación se describen las causas que toman parte en éstos.

- ① Depuración en los humedales
- ② Sedimentación en la zona de desembocadura en tiempos de inundaciones
- ③ Producción de fitoplancton
- ④ Descomposición (descomposición del material orgánico en material inorgánico)
- ⑤ Sedimentación (sedimentación de los sólidos en suspensión)
- ⑥ Disolución del lodo del fondo
- ⑦ Levantamiento del lodo del fondo
- ⑧ Desnitrificación

En esta cláusula, se analiza y estudia cada causa expuesta, con el fin de comprender los fenómenos de la contaminación de agua del lago Ypacarai, y los resultados se tomarán como datos básicos para la selección de los constantes del modelo de simulación.

6.2.1 Depuración en los humedales

(1) Distribución y Característica de los humedales

Hay humedales en la zona de desembocadura tanto del Río Yuquyry como del Río Pirayú.

A continuación se muestra la descripción de estos humedales.

Tabla Características de los humedales en las desembocaduras de los ríos afluentes

NOMBRE	AREA (Km ²)	Caudal en Condición Normal (m ³ /d)	Carga por Area de Agua en Condición Normal (m ³ /d/m ²)
Río Yuquyry	15.7	aprox. 2.5 X 10 ⁵	aprox. 0.02
Río Pirayú	1.83	aprox. 1.5 X 10 ⁶	aprox. 0.08

*Nota: La carga por área de agua quiere decir el caudal por área unitaria en el humedal.

En el Río Yuquyry, el humedal ocupa un área bastante amplia, y el agua del río, después de pasar por la zona pantanosa, afluye al lago a través de cuatro cauces que se enmarañan complicadamente y se deduce que casi toda la superficie del humedal es anegada al subir el nivel del agua.

Por otro lado, en el Río Pirayú, el área del humedal es pequeña, y los cauces son claros.

Aunque cabe la posibilidad de pensar en la influencia del refluo del agua de lago en el humedal del Río Yuquyry, conforme al resultado de la investigación de EC descrito en 6.1.3 se puede pensar que el río afluye en la dirección normal.

(2) Mecanismo de depuración en los humedales

Se cree que en los humedales el agua se depura por los mecanismos siguientes.

① SS

La adhesión a los pelos absorbentes de hidrofitas y la función de filtración por las mismas.

② Material Orgánico (COD)

Se depura y se descompone por la acción de microorganismos de los alrededores de hidrofitas.

③ Depuración de N

Se gasifica por la función de desnitrificación y se difunde a la atmósfera.

④ Depuración de P

De la misma forma que el SS, principalmente se elimina el P de las partículas.

(3) Porcentaje de depuración (o el porcentaje residual de depuración) y la carga por área de agua

Se cree que la proporción de depuración en la zona pantanosa se relaciona con la carga por área de agua (caudal por área unitaria: $m^3/d/m^2$).

Es decir, a medida que se alarga el tiempo de paso por el humedal, el porcentaje de depuración será más alto.

Por lo tanto, se indica la relación entre la carga por área de agua del valor promedio de 5 días en Río Yuquyry y la proporción residual de depuración de COD, SS, TN y TP, (Ver la Fig. S6.6.1).

Conforme a esta figura, hay tendencia de que el efecto de depuración se acerca a un cierto valor de saturación, a medida que la carga por área de agua aumenta.

Por otro lado, el humedal del Río Pirayú es pequeña en área, y los efectos de depuración son muy bajos, a excepción del SS.

Tabla Cálculo preliminar de la depuración de la carga de agua en el humedal

(5-6 de julio, 1988)

Item (mg/l)	Desembocadura de Pirayú (promedio anual) (A)	Carga promedio de afluente del río Pirayú		Observaciones
		Valor medido (B)	% de depuración (1-A/B)	
T-P	0.079	0.0844	0.063	
T-N	0.956	0.726	—	
COD	14	18.2	1.231	
SS	3.0	5.7	0.474	

6.2.2 Sedimentación en la zona de desembocadura en tiempo de inundaciones

En tiempo de inundaciones, gran cantidad de partículas afluye desde el río al lago. Se presume que entre estas partículas, las de SS cuyo diámetro es relativamente grande se sedimentan en la zona de desembocadura, y no afectan a la calidad de agua del lago.

Se llevó a cabo el experimento correspondiente bajo techo utilizando el cilindro medidor.

Las muestras fueron tomadas del agua del río afluente y el lago, y del lodo del fondo del lago. Se midieron las concentraciones de SS en el agua mezclada con el lodo de fondo y el agua sin mezclarse a una hora y a las 24 horas después del muestreo. Generalmente la turbiedad del agua y concentración tienden a disminuirse en forma exponencial a medida que se sedimentan las partículas. El resultado está expuesto en el gráfico de logaritmo simple.

De acuerdo con este resultado, la proporción de reducción de la sedimentación de SS en el agua es de 0.0001~0.02 1/hr, mientras que el agua mezclada con el lodo del fondo es alto, 0.02~0.07 1/hr. En cuanto al río afluente, se puede considerar que el agua sin mezclarse con el lodo tiene la misma calidad y estado de sedimentación que el de tiempos ordinarios, y el agua mezclada con el lodo del fondo tiene la calidad del agua de tiempos de inundaciones.

Este resultado indica que al presentarse las inundaciones ocurre la sedimentación de material de partículas en la zona de desembocadura.

6.2.3 Producción

(1) Descripción del fenómeno de producción

La producción primaria se refiere a la producción de las materias orgánicas a partir de las materias inorgánicas en base a la fotosíntesis de los fitoplancton. Naturalmente, en la zona del perilago una gran cantidad de hidrofítas y algas están realizando la producción primaria, pero su cantidad en comparación con la producida en el lago es considerablemente más pequeña.

Además, la producción de los zooplancton, los bentos, los peces, etc. dependen directa o indirectamente de la producción de fitoplancton a través de la cadena alimenticia.

Existen diversas formas para medir la producción primaria, tal como se señala en la Tabla siguiente.

Los factores que toman parte en la producción son la luz, la temperatura de agua y las sales nutrientes (N&P-inorgánico).

Al suponer que la producción en el Lago Ypacarai es dependiente de todos estos factores, se podría indicar la velocidad de producción con la ecuación del tipo Michaelis-Menten.

Tabla Método de Medición de la Producción Primaria

Nombre de Medición	Resumen de Método
Método O ₂ en el campo	Se mide la cantidad de fotosíntesis de fitoplancton por la variación de DO. Se realiza en el campo.
Método CO ₂ en el campo	Se mide la cantidad de fotosíntesis de fitoplancton por la variación de CO ₂ . Se realiza en el campo.
Método C ¹⁴	Dando HaH ¹⁴ CO ₃ de radioactividad conocida por una cantidad constante, se mide la radioactividad de fitoplancton después del experimento.
Método de simulación de campo	Se toma un cierto volumen de muestra de agua, se mide dando artificialmente las condiciones de la luz, la temperatura y etc.. La medición se hace por O ₂ y CO ₂ .
Se deduce la producción primaria por la cantidad de clorofila	Es el método por el cual se deduce la producción dando las condiciones de la temperatura de agua, la cantidad de radiación solar y la luz, tras saber la producción máxima por la cantidad unitaria de clorofila.
Método pH	Se mide por la variación del pH en el proceso de fotosíntesis del fitoplancton
Método considerando la asimilación de sales nutritivas	<p>Es el método para conocer la variación de la producción dependiendo de la variación de las sales nutritivas, ya que la producción primaria depende de la cantidad de la sal nutritiva. En este estudio, se indica la producción con la siguiente fórmula, y se hizo el experimento de estimar la constante de Micaeles de IN, IP.</p> $K_p = \mu(T) \cdot \frac{f \quad IN \quad IP}{K_{mf} + f \quad K_{mIN} + IN \quad K_{mIP} + IP}$ <p>En donde;</p> <p>K_p : cantidad de producción μ : veloc. máxima de proliferación T : temperatura de agua f : cantidad de radiación solar IN : concentración de nitrógeno inorgánico IP : concent. de fósforo inorgánico K_{mf} : constante de Micaeles de cantidad de radiación solar K_{mIN} : constante de Micaeles del nitrógeno K_{mIP} : constante de Michaelis del fósforo</p>

(2) Estudio sobre la producción

Para el estudio sobre la producción, se efectuaron el método simple de O_2 in situ y el experimento de AGP.

(Respecto al experimento de AGP, refiérase al Informe Suplementario III)

- ① Resultado de la medición de la producción por el método simple de O_2 in situ

Fecha de estudio: 27 de Feb., 89

Condición en el Lago y resultados de la medición

	Est. 25	Est. 49
Intensidad de luz en la superficie (lux)	30,000	32,000
Profundidad Eufótica (cm)	40	43
Temperatura en la superficie (°C)	28.3	29.1
D.O. en la superficie (mg/ℓ)	7.1	7.1
(%)	92	92
Chl-a en la superficie (μg/ℓ)	307.3	34.7
SS en la superficie (mg/ℓ)	72.0	18.3
Actividad de fotosíntesis-Om(mg C/m ³ ·h)	373	101
Fotosíntesis (mg C/m ³ ·día)	774	226
Eficiencia de Fotosíntesis (Om)	1.2	1.0
Respiración (mg C/m ³ ·día)	639	218

- ② Estudio de la atenuación de la intensidad de la luz submarina

La velocidad de la producción en lago también es función del espesor de la capa eufótica y la distribución perpendicular de la luz.

Se muestra en la Figura S6.6.3 el resultado del estudio acerca de la atenuación de la intensidad de la luz que se hizo con el medidor submarino de la intensidad de la luz.

Se considera que la profundidad de la capa eufótica expresada en función de la transparencia es generalmente el doble del grado de transparencia. Expresado en intensidad de la luz submarina se considera que es la profundidad en donde se atenúa en un por ciento esta intensidad en comparación a la de la superficie.

6.2.4 Descomposición

La materia orgánica, en particular bajo la condición aeróbica, disminuye por la acción de descomposición de la bacteria.

La materia orgánica afluyente desde el río, recibe la acción de descomposición durante el recorrido por el río, por lo que, se considera que la mayoría de las materias orgánicas residuales son difíciles de ser descompuestas (K_A).

Por otro lado, dentro del lago hay fitoplancton y sus restos (K_B), y además el material orgánico que se disuelve y levanta desde el lodo de fondo (K_C); éstos finalmente se convierten por descomposición en materia inorgánica (CO_2 y H_2C) por bacteria.

Si se comparan éstos tres por escala, se presume que $K_A < K_C < K_B$, aunque es difícil de medirlos por separados. En la realidad éstos están considerados como mixtos.

Generalmente la descomposición se considera como reacción primaria y se expresa como la siguiente:

$$\frac{dC}{dt} = -K_d \cdot C$$

$$K_d = K_{d20} \cdot \theta^{t-20}$$

- En donde:
- K_d : constante de velocidad de descomposición (1/día)
 - C : concentración de material que se descompone
 - C_1 : coeficiente de velocidad de descomposición
 - t : temperatura de agua ($^{\circ}C$)
 - θ : coeficiente de temperatura de agua
 - K_{d20} : constante de velocidad de descomposición a la temperatura de $20^{\circ}C$ (1/día)

Se midieron, según la necesidad, las concentraciones de COD, Chl-a y SS guardando la muestra en un lugar oscuro a 20°C, tras tomar la muestra del agua de la capa superficial cerca de San Bernardino del 19 de octubre al 3 de noviembre.

A través del resultado de este experimento de la descomposición bajo techo, se obtuvieron las velocidades de la descomposición, $K_{\text{COD}}=0.036$, $K_{\text{chl-a}}=0.054$, así como se muestran en la Figura S6.6.4.

La concentración de SS es mucho más pequeño que la de COD, (mientras el COD se descompone transformándose en estado disuelto, SS es de partícula y contiene componentes arenosus).

6.2.5. Sedimentación

(1) Descripción del fenómeno de sedimentación

Las partículas que flotan en el lago, constan de algas cuyo peso específico es pequeño y de lodos del fondo o materias originarias del río al ocurrir las inundaciones cuyo peso específico es grande, y éstos se sedimentan y desaparecen en el transcurso de tiempo. Estos dos distintos materiales se sedimentan a diferentes velocidades. Además, no sólo se sedimentan las partículas, sino también se acumulan en lodos del fondo y únicamente por efectos de viento se levantan y mueven dentro del agua.

Como es difícil medir su velocidad de sedimentación real por medio de cribado de algas y materiales arenosus, se ha determinado, en el primer lugar, la composición física para el cálculo.

(2) Modelo del fenómeno de sedimentación

Se puede explicar el fenómeno de sedimentación como se está indicado en la figura siguiente. Desde el punto de vista microscópica el material especificado es una masa de elementos de diferentes velocidades de sedimentación. La velocidad de sedimentación que está definida en la figura representa la velocidad media de todos los elementos. Se puede clasificar aproximadamente como el siguiente el modelo del fenómeno de sedimentación.

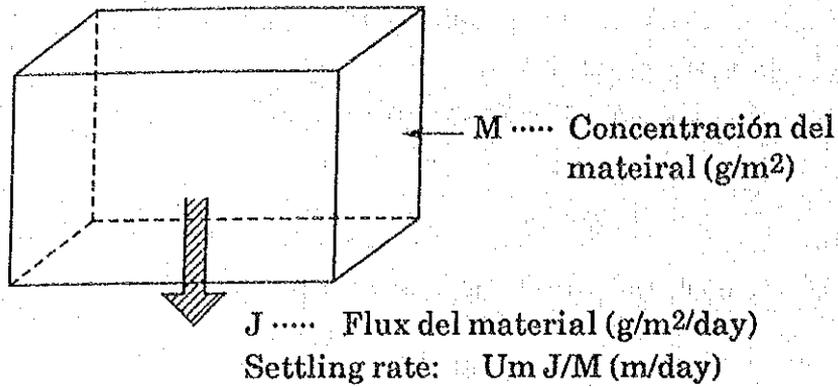


Fig. Definición de la relación de Asentamiento

(3) Observación de la velocidad de sedimentación

① Método

La observación del material de sedimentación, se llevó a cabo por medio del cambio del colector cada 24 horas colocando un colector $\phi 24\text{cm}$ a 2.0m de profundidad de agua en la estación 25 (profundidad total 2.9m), (duración de la observación: de 12 a 21 de julio, 1988).

Después de hacer medición del nivel de agua en el colector, se realizó un análisis sobre SS, LOD, D-COD, K-N, D-K-N, T-P y D-TP.

Los valores de P-COD, P-K-N, y P-T-P se calcularon con el resultado del análisis.

② Resultado del estudio

Se calculó el volumen del material sedimentado con la fórmula siguiente en base al resultado del experimento de partículas.

$$M = Ca \times \frac{V}{1000} \times \frac{1}{A} \times \frac{1440}{T}$$

En donde, M : volumen del material sedimentado (mg/m²/día)

Ca: concentración de la calidad de agua en el colector (mg/ℓ)

V : volumen del agua en el colector (mℓ)

A : área del colector (m²) A = 0.0452

T : tiempo de colección (min.)

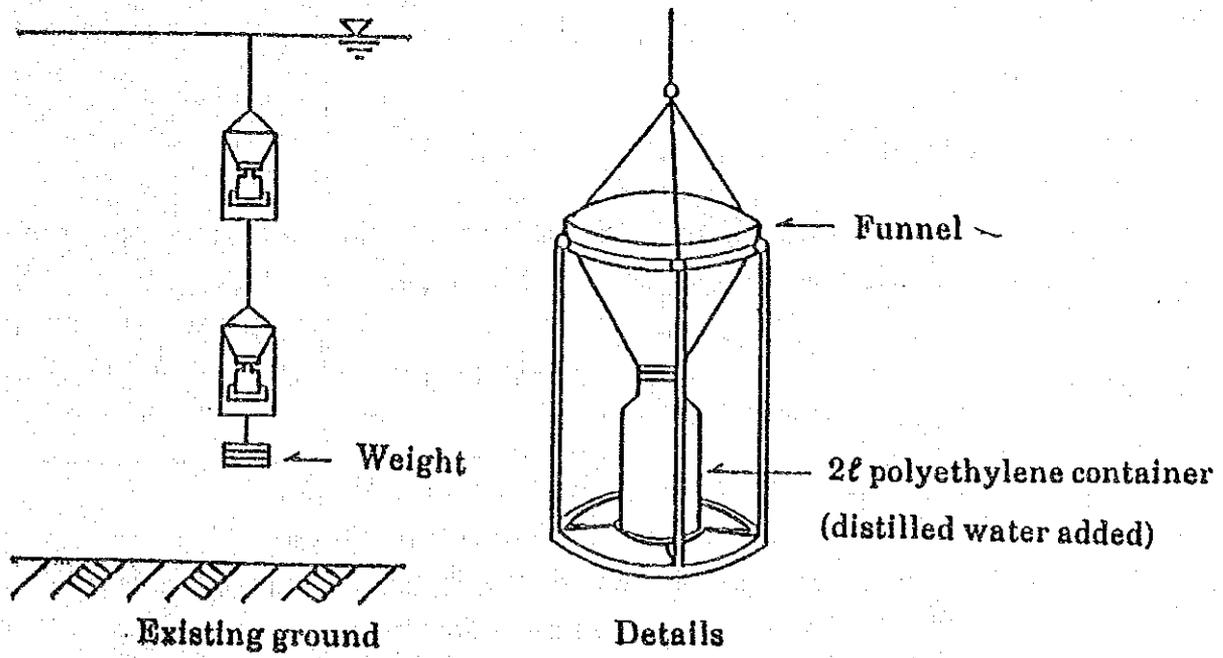


Fig. Settling Collector and Installation Method

Tabla Volumen del material sedimentado (mg/m²/día)

Item \ Período	12/7~ 13/7	13/7~ 14/7	14/7~ 15/7	15/7~ 18/7	18/7~ 19/7	19/7~ 20/7	20/7~ 21/7	Min~Max. promedio
SS	3237	3434	8850	2421	2156	2194	2119	(2119~8850) 3487
P-COD	1804	1280	1211	665	363	2018	1695	(363~2018) 1291
P-ON	16.2	10.8	54.0	14.9	6.8	45.7	10.1	(6.8~54.0) 22.6
PTP	6.0	2.5	4.3	1.9	3.5	4.1	4.1	(1.9~6.0) 3.8

③ Cálculo de la velocidad de sedimentación

También con la fórmula siguiente se calcularon el porcentaje y la velocidad de sedimentación de SS por día.

$$U_r = \frac{M}{C_s \cdot H \cdot 1000} \quad U = U_r \cdot H$$

En donde, U_r : porcentaje de sedimentación (l/d)

U : velocidad de sedimentación (m/d)

H : profundidad de la posición del colector (m) $H = 2.0$

M : volumen sedimentado (mg/m²/d)

Tabla Resultado del cálculo de la velocidad de sedimentación (SS)

Item \ Período de observación	12/7~ 13/7	13/7~ 14/7	14/7~ 15/14	15/7~ 18/7	18/7~ 19/7	19/7~ 20/7	20/7~ 21/7	Minimo~ Máximo	Promedio
SS del agua de lago (mg/l)	8.2	10.5	10.5	10.5	14.2	12.5	7.0	—	—
Cantidad de SS en el colector (mg/m ²)	16400	21000	21000	21000	28400	25000	14000	—	—
Cantidad de SS sedimentado	3237	3434	8850	2421	2156	2194	2119	—	—
Porcentaje diario de sedimentación (l/d)	0.197	0.164	0.421	0.115	0.076	0.088	0.151	0.076~ 0.421	0.173
Velocidad de sedimentación (m/d)	0.39	0.33	0.84	0.23	0.15	0.18	0.30	0.15~ 0.84	0.35

Por el carácter del experimento existe la posibilidad de que los valores obtenidos puedan tener errores positivos, puesto que había posibilidad de que los SS levantados pudieran mezclarse con las muestras.

A base del concepto parecido al SS, pueden determinar como el siguiente las velocidades de sedimentación de COD, N y P.

Resultado de las velocidades de sedimentación

Velocidad de sedimentación \ Período de observación	12/7~	13/7~	14/7~	15/7~	18/7~	19/7~	20/7~	Min~Max (promedio)
	13/7	14/7	15/7	18/7	19/7	20/7	21/7	
P-COD	0.24	0.17	0.16	0.09	0.05	0.27	0.23	0.05~0.27 (0.17)
P-ON	0.044	0.030	0.146	0.040	0.018	0.124	0.028	0.018~0.146 (0.061)
P-TN	0.158	0.066	0.114	0.050	0.092	0.108	0.108	0.050~0.158 (0.099)

6.2.6. Disolución del lodo del fondo

(1) Descripción del fenómeno de elución del lodo del fondo

La elución se refiere al fenómeno de retorno de la sal nutritiva del lodo del fondo del lago al agua de lago, y la velocidad de elución se expresa como el flujo de la sal nutritiva desde el lodo de fondo hacia el agua del lago por área unitaria. La elución se llama también carga interna, debido a que la carga de las sales nutritivas tales como el nitrógeno y el fósforo se introducen al agua del lago sin depender del flujo externo, y, sobre todo, en un lago no profundo tiene un papel grande en la circulación física.

Hay dos métodos para medir la velocidad de elución; el método de medición in situ o en laboratorio, midiendo la variación de la concentración de material en el agua que esté mezclada con el lodo del fondo, y el método del modelo matemático de difusión del lodo del

fondo en el agua. En esta investigación se llevó a cabo el experimento en laboratorio con el tipo simulado in situ en condición estática.

La velocidad de disolución en la condición estática se puede indicar con la fórmula siguiente. :

$$K_R = k_{R20} \cdot \theta^{t-20}$$

En donde, K_R : velocidad de disolución estática (mg/m²/día)

k_{R20} : velocidad de disolución estática a 20°C (mg/m²/día)

θ : coeficiente de temperatura de agua (1/día)

t : temperatura de agua (°C)

(2) Prueba de la disolución de N, P y COD desde el lodo del fondo

Las velocidades de disolución de N, P y COD desde el lodo del fondo se obtuvieron por medio del experimento en laboratorio, (9 de julio ~ 19 de julio, 1988).

① Método del experimento

Se tomó la muestra de lodo en la estación No.25 con la draga de Ekman-Birge. Se efectuó el experimento de disolución bajo la condición aeróbica, colocando en el fondo esta muestra y luego agregando el agua destilada. Se hizo a dos temperaturas, a 20°C y a 30°C.

② Análisis

Se analizaron las muestras en el estado disuelto de COD, N y P.

③ Método del cálculo de la velocidad de disolución y su resultado

En cuanto a N y P, y en cuanto a COD se aplicaron la fórmula (1) y la (2) respectivamente.

$$KR = (C_n - C_o) \times V_n \times \frac{1000}{A} \times \frac{1}{n} \dots \dots \dots \text{N, P} \quad (1)$$

$$KR = (C_n - C_o 10^{-kn}) \times V_n \times \frac{1000}{A} \times \frac{1}{n} \dots \dots \dots \text{COD} \quad (2)$$

*Nota: Se calculó con el coeficiente de descomposición de COD, $k = 0.03$

En donde, KR_n : cantidad disuelta por día ($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$)
 C_0 : concentración (de día 0) inicial
 C_n, C_{n+1} : concentración del día $n, n+1$
 V_n, V_{n+1} : volumen de agua V_n, V_{n+1}
 A : área de equipo de experimento
 $n, (n+1) - (n)$: período de cálculo

Proporción de Elución de Materiales del Fondo

Item	Elution Rate ($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)		Observación
	20°C	30°C	
D-COD	226	238	
IN	1.41	—	
D- PO_4P	0.104	0.423	

6.2.7 Estudio del levantamiento del lodo de fondo

El fenómeno del levantamiento del lodo del fondo por el viento es común en lagos y pantanos no profundos. En este fenómeno, el lodo del fondo levantado por el viento se sedimenta de nuevo en cuanto cesa el viento y se provoca la contaminación cuando sopla el viento. Sin embargo, se cree que parte del lodo se disuelve mientras flotan en el agua del lago. El fenómeno del levantamiento por el viento se expresa con la fórmula siguiente.

$$K_v = f(F)$$

$$K_z = f(K_v)$$

En donde, K_v : volumen de lodo levantado del fondo

F : intensidad de viento

K_z : cantidad convertida en la composición disuelta en el agua

En julio del año 1988 se llevó a cabo la observación del fenómeno de levantamiento del lodo del fondo causado por el viento en el Lago Ypacarai. La consecuencia de la misma se muestra en la Figura S6.6.5.

Del 18 al 19 de julio, el grado de la contaminación en la estación No.30 se incrementó notablemente; por casualidad el período del estudio correspondió a la época del viento más fuerte del año.

Tomando en consideración este hecho, es posible creer que no sea tan grande el levantamiento por el viento.

Aunque podrá existir alguna otra causa, como la convección causada por la diferencia de temperatura entre el día y la noche, este fenómeno no está aclarado todavía.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

Se puede resumir como los siguientes el estudio de un año sobre el lago y los ríos.

- 1 Tanto el río Yuguyry, uno de los ríos principales afluyentes al lago, como casi todos los arroyos afluyentes, están contaminados y algunos están afectados severamente por fábricas.

La afluencia de los materiales contaminantes rebasa la capacidad de autodepuración del agua.

- 2 Por otro lado, los arroyos del sistema hidrológico de Pirayu que es uno de las fuentes de agua que afluyen al lago, están menos contaminados. En unos tramos la auto-depuración es activa.

- 3 No se observa ninguna tendencia común en la variación del patrón mensual de la calidad del agua de las 4 estaciones en los dos ríos .

- 4 Al incrementar la afluencia de materiales contaminantes, obviamente aumentan las concentraciones de los tres ríos después de la lluvia

Reflejando un porcentaje alto de contaminación desde fuentes de no puntuales, el volumen de la carga en el sistema hidrológico de Pirayu incrementa más notablemente después de la precipitación que durante el período de caudal normal. La diferencia es aproximadamente de 10 a 40 veces más en el Río Ypucu y de unos 60 a 180 veces más en el Río Yagua Resa-u.

- 5 En el Río Yuquyry no hay mucho aumento de la cantidad de carga después de la precipitación por la existencia de muchas fuentes puntuales en su cuenca. El incremento es aproximadamente de 6 a 28 veces más en este río.

- 6 Debido a la drástica erosión en las cuencas de estos tres ríos, el aumento del SS es muy elevado después de la lluvia.

- 7 Aún considerando el aumento de la descarga después de la precipitación, la cantidad de descarga del Río Yuquyry es mucho mayor que la del Río Pirayú.
- 8 Antes de desembocar al lago, estos tres ríos pasan por humedales donde se depuran materiales contaminados. El humedal del Río Yuquyry es muy extenso y tiene mayor capacidad de auto-depuración.

Los materiales contaminados de mayor diámetro son más fácilmente depurados.

- 9 Las aguas de los ríos entran al lago después de recibir el efecto de auto-depuración en los humedales. Parece ser que los valores de afluencia son dominados en forma considerable por las concentraciones de los elementos que determinan la calidad del agua. En especial, la variación del N del lago coincide bien con los valores afluentes.
- 10 La contaminación orgánica del lago es provocada por la afluencia de materias orgánicas disueltas (de difícil disolución), principalmente por fitoplancton vivos y muertos que son producidos por una alta concentración del N y P procedentes de ríos.
- 11 Otras causas de la contaminación del lago es el fácil levantamiento de sedimentos del fondo por la escasa profundidad del lago.

Frecuentemente se observa el levantamiento en primavera cuando el viento es más fuerte.

- 12 Las aguas del Lago están bien mezcladas tanto en el sentido horizontal como en el sentido vertical.

Sin embargo, hay fenómenos locales desde el punto de vista biológico como el caso de la distribución irregular de Chl-a.

- 13 El estado del lago de 88 fue muy diferente que otros años anteriores, por ejemplo; muy alto nivel del SD, el color de las aguas de marrón y transparente, abundante cantidad de fitoplancton y zooplancton y bajas concentraciones de TP y PO₄-P. Se cree que la gran precipitación de Enero de 1988 arrastró las aguas del lago.

- 14 Sin embargo, el estado del lago de 89 fue evidentemente diferente que el del año 88 y se cree que es parecido al estado anterior a 87, ya que el color del agua se convirtió en gris oscuro, bajó la producción de plancton, pero, disminuyó el nivel del SD y las concentraciones de TP y PO4 fueron notablemente elevadas. Se considera que el estado del lago en 89 es parecido al de 87 y los años anteriores, sin embargo, el período de la investigación estuvo limitado a menos de tres meses.
- 15 En 89 la capacidad de depuración de humedales estaba saturada, los valores afluentes de cada ítem de la calidad del agua fueron altos a partir del principio del año. En especial, aumentó la cantidad de afluencia de materiales orgánicos menores de 1µm e incrementó la concentración de materias orgánicas de difícil disolución como el ácido húmico, que son responsables de la contaminación del lago. A parte de estos factores los restos de plancton o sedimentos residuales del fondo convirtieron el color del lago en negro.

Se considera que el aumento de TP y PO4-P es debido al incremento de los valores afluentes, aparte de la disolución del fondo y subida de la temperatura.

Estas condiciones arriba mencionadas se presentarán fácilmente en el lago.

CAPITULO VIII

TAREAS FUTURAS

Se ha realizado un estudio básico para aclarar el mecanismo de la contaminación del lago a partir de febrero de 88 durante casi un año. No obstante, en una región que existen estaciones de verano e invierno el estudio de un año es muy corto para investigar las áreas acuáticas incluyendo organismos.

1. Se cree que se ha obtenido un entedimiento en forma general sobre el patrón de variación mensual de la calidad de aguas. Sin embargo, es necesario aumentar la frecuencia de investigación para determinar la variación exacta sobre un período largo.
 2. Las 3 causas principales de contaminación del lago son;
 - ① Producción de fitoplancton por eutroficación y su descomposición
 - ② Sedimentos residuales del fondo por el levantamineto y
 - ③ Residuos de materias orgánicas de difícil disolución como el ácido húmico
- Hay que investigar más profundamente sobre el grado de aportación de cada una de las causas de contaminación y la forma de combinación de cada una.
3. En especial, en cuanto al punto ③, debido al cual se cree que el color del lago se transformó en gris oscuro en febrero y marzo de 89, es necesario continuar el estudio sobre las fuentes de afluencia, los orígenes de contaminación y el mecanismo de producción de aguas negras.
 4. Si se requiere aclarar más detalladamente el mecanismo de contaminación, hay que seguir el estudio sobre el mecanismo de la circulación de cargas del lago, el modo de depuración de humedales y su relación con las aguas afluentes de los ríos.

TABLAS

Table S6.2.1 (1) Sampling Dates and Meteorological Conditions

Date	Station	Weather	Air Temp(°C)	Wind Velocity (m/s)	Wind Direction	Precipitation (mm)	Remarks
Feb. 24, '88	A°-s (Y7, P11, P12)	Clear					
Mar. 15, '88	A°-s (Y7, P11, P12)	Clear	27.2	0.75	SSW	0	Rainfall Mar. 13: 3.0~3.5mm
Apr. 6, '88	A°-s (Y7, P11, P12)		24.6	0.35	SW	0	
Apr. 13, '88	A°-s (Y7, P11, P12)		19.4	2.3	SSW	0	Rainfall Apr. 12: 149mm
Apr. 19, '88	A°-s (Y7, P11, P12)		20.6	0.8	ENE	93.0mm	
May. 4, '88	A°-s (Y7, P11, P12)	Clear	12.3	1.4	S	0	Rainfall May. 3: 7mm
May. 19, '88	A°-s (Y7, P11, P12)	Cloudy	18.0	0.73	S	0	Rainfall May. 16: 62.2mm
Jun. 1, '88	A°-s (Y7, P11, P12)	Clear	6.8	0.4	ENE	0	
Jun. 14, '88	A°-s (Y7, P11, P12)	Cloudy, little rainfall	10.5	0.4	SSW	0	
Jun. 23, '88	A°-s (Y6~BOCA)	Cloudy, later little rainfall	22.1	0.8	NNE	7.3mm	
Jul. 1, '88	A°-s (Y1~Y8)	Clear	21.3	0.4	ENE	4.9mm	
Jul. 5, '88	A°-s (P1~P7)	Cloudy, little rainfall					
Jul. 6, '88	A°-s (P8~P12)	Cloudy, little rainfall	10.3	0.5	SSW	0	
Jul. 9, '88	A°-s (Y6~P12)	Clear	12.1	1.2	S	0	

Table S6.2.1 (2) Sampling Dates and Meteorological Conditions

Date	Station	Weather	Air Temp(°C)	Wind Velocity (m/s)	Wind Direction	Precipitation (mm)	Remarks
Aug. 17, '88	A°-s (Y6~P12)	Clear	16.1	0.8	WNW	16.7mm	Rainfall Aug. 15: 12.5mm Aug. 16: 2.1mm
Aug. 18, '88	A°-s (Y6~P12)		20.2	1.23	SW	0	
Sep. 26, '88	A°-s (Y6~P12)	Slightly cloudy	25.7	1.6	SSW	0	
Oct. 24, '88	A°-s (Y6~P12)	Clear		0.9	ENE	0	
Dec. 10, '88	A°-s (Y6~P12)	Clear, hot	25.9	0.4	W		
Jan. 11, '89	A°-s (Y6~P12)	Clear	20.8	0.6	WSW		
Feb. 14, '89	A°-s (Y6~P12)	Clear	25.3		WSW	0	
Mar. 2, '89	A°-s (Y6~P12)	Clear	24.8	0.3		0	
Oct. 31, '89	A°-s (Y7, P11, P12)	Rain and cloudy		1.5	W	93.0mm	
Nov. 3, '89	A°-s (Y7, P11, P12)	Clear		1.0	SSW	0	

Table S6.3.1 Grain Diameter of Sediment in the Rivers

Sampling date: July, 9, '88

Name of River	Max. Size (mm)	Size of 60%(mm)	Size of 30%(mm)	Size of 10%(mm)	Size Ratio (%)						
					>4.76 mm	4.76~2.0	2~0.42	0.42~0.074	0.074~0.057	0.057~0.02	0.02>
Yuquyry	9.52	2.15	0.35	0.051	24.5	17.5	27.3	18.2	2.3	3.9	6.3
Ypucu	4.76	0.75	0.17	0.027	0	6.0	48.5	24.5	3.0	9.8	8.2
Yagua-Resa-u	4.76	0.59	0.14	0.030	0	6.6	41.9	31.7	3.8	9.5	6.5

Table S6.3.2 Physical and Chemical Characteristics of Sediment in the Rivers

Name	Item	Density (mg/cm ³)	Water Content (%)	Ignition Loss (%)	Organic N (mg/g-dw)	Organic C (mg/g-dw)	C/N
Yuquyry River St. Y7	-	-	24.9	0.7	0.11	1.07	9.7
Yuquyry River St. Y6	1.97	1.97	22.3	0.4	0.07	1.32	18.9
Ypucu River St. P12	1.99	1.99	23.7	0.6	0.14	1.55	11.1
Yagua resa-u River St. P11	1.88	1.88	23.4	0.9	0.10	1.00	10.0
* Pirayu River St. P2	1.36	1.36	98.9	12.8	2.18	21.36	9.8
Mean	1.95	1.95	23.8	0.7	0.11	1.24	12.4

* Values taken at the Pirayu River, St. P2, were not used for mean values.

Table S6.4.1 (1) Sampling Dates and Meteorological Conditions

Date	Station	Weather	Air Temp (°C)	Wind Velocity (m³/s)	Wind Direction	Precipitation (mm)	Others
Feb. 16, '88	Lake	Clear		weak	S	0	
Mar. 2, '88	Lake	Clear	26.9	0.8	SW	0	Rainfall Mar. 1: 1.5mm
Mar. 22, '88	Lake	Clear, hot	30.6	1.3	NE	0	
Apr. 13, '88	Y. BOCA		19.4	2.3	SSW	0	Rainfall Apr. 12: 149.0
Apr. 15, '88	Y. BOCA		19.9	0.7	ENE	0	
Apr. 20, '88	Lake	Cloudy	22.8	0.6	ENE	1.5	Rainfall Apr. 19: 97.8mm
May. 31, '88	Lake	Clear	5.7	0.73	SSW	0	
Jun. 21, '88	Lake	Cloudy, later clear	19.7	0.6	SSW	0	Rainfall Jun. 18: 40.1mm
Jul. 8, '88	Lake	Clear	7.2	0.4	SSW	0	
Aug. 18, '88	Lake	Clear	20.2	1.2	SW	0	Rainfall Aug. 17: 16.7mm
Sep. 27, '88	Lake	Cloudy	27.8	2.6	SSW	0	
Oct. 27, '88	Lake	Clear, not hot	23.5	0.8	SSW	0	Wind Oct. 25: 2.1m/s Velocity Oct. 26: 1.9m/s
Dec. 6, '88	Lake	Clear, dry		0.5	NE	0	
Jan. 10, '89	Lake	Clear, warm	25.4	0.8	SSW	0	

Table S6.4.1 (2) Sampling Dates and Meteorological Conditions

Date	Station	Weather	Air Temp (°C)	Wind Velocity (m3/s)	Wind Direction	Precipitation (mm)	Others
Feb. 10, '89	Lake (Plankton Sampling)	Clear	26.4	0.3	W	0	
Feb. 15, '89	Lake	Slightly cloudy	25.6	0.3	WSW	0	Feb. 14:3.4
Feb. 16, '89	Lake	Slightly cloudy	23.0	0.4	SW	0	
Feb. 27, '89	Lake (Plankton Sampling)	Clear	22.5	0.2	SSW	0	
Mar. 3, '89	Lake	Clear	27.0			0	
Mar. 14, '89	Plankton Sampling	Clear	28.3			0	

Table S6.4.2 Distribution of EC in the Lake

Date st.	Feb. 16, '88	Mar. 2	Mar. 22	Apr. 20	May. 31	Jun. 21	Jul. 8	Aug. 18	Sep. 27	Oct. 27	Dec. 6	Jan. 10 '89	Feb. 16, '89	Mar. 3	Mean ±S.D.
4 s	107	152	159	141	145	*123	154	157	179	182	184	*150	165	167	158±20
b	-	-	-	*83	140	154	159	-	179	186	-	-	164	170	165±14
25 s	108	163	172	148	150	156	157	155	182	175	196	180	163	166	162±20
b	-	-	-	145	156	152	160	-	181	181	-	-	178	167	165±13
49 s	113	168	164	159	150	154	164	158	172	188	209	187	177	176	167±21
b	-	-	-	162	158	*194	168	-	172	192	-	-	182	176	173±11
57 s	109	166	150	157	145	162	-	154	-	-	208	188	177	175	163±24
b	-	-	-	160	145	-	-	-	-	-	-	-	177	175	164±13

* These values clearly show the effect of Pirayu River and Yuquyry River water, therefore these were not used for mean values.

Table S6.4.3 Phytoplankton Characteristics within Lake Ypacarai

Dominant group : Blue-green Algae
 Sampling date : Feb. 16, '89
 Sampling point : between St. 3 and St. 4

$\frac{\text{Chl-a}}{\text{SS}}$ (µg/mg)	$\frac{\text{Chl-a}}{\text{COD}}$ (µg/mg)	P (µg/mg-dwt)	N (µg/mg-dwt)	N/P by wt.	Ignition Loss (%)		
16.4	Mean 5.6	Mean 13.6	Mean 307	24.7	83.6		
14.9						9.6	354
14.0						17.6	331

Table S6.4.4 Relationship between the Sediment Mixing Ratio and the Characteristics of the Lake

	Jun. 21, '88	Aug. 18, '88	*Oct. 19, '88	Oct. 27, '88	Mar. 3, '89	
Sediment	1µm<	2.2	8.7	27.0	34.6	11.0
	(% to SS)	34	40	50	58	30
Total	(mg/l)	3.1	12.4	38.6	49.4	15.7
	(% to TR)	3	9	26	29	6
TR	(mg/l)	107	137	150	171	245
IL	(mg/l)	62	76	42	69	139
	(%)	58	55	28	40	57
SS	(mg/l)	6.5	21.9	54.0	59.6	37.0
	(% to TR)	6	16	36	35	15
IL	(mg/l)	3.9	12.3	27.0	26.9	23.0
	(%)	60	56	50	45	62
S.D	(cm)	81	61	45	18	23
Chl-a	(µg/l)	28	38	62	79	32

* Values from one station on a day of high waves. The other values represent the mean value of several stations.

Table S6.4.5 Diameter of Particles in the Lake Water

Sampling date: July 8, '88

St.	Max. Size (μm)	Size of 60%(μm)	Size of 30%(μm)	Size of 10%(μm)	Size Ratio (%)		
					74~5 μm	5~1 μm	1 μm >
0	32.0	2.93	0.784	-	29.0	32.1	38.9
4	32.0	2.37	0.748	-	26.6	34.6	38.8
25	32.0	3.34	1.07	-	27.9	44.3	27.8
49	32.0	2.23	0.709	-	23.8	35.9	40.3
Y. Boca	4.0	-	-	-	-	21.9	78.1

Table S6.4.6(1) Water Quality Comparison between 1988 and 1989 (Feb. and Mar.)

	1988	1989 (Feb. and Mar.)
Correlation between SD and TR	Existence of correlation	High TS
Correlation between SD and TR	Existence of correlation	Highest tendency of TR
Correlation between SD and SS	Existence of correlation	Lowest tendency of SS
Correlation between SD and Chl-a	No good correlation, but there are little correlation	Low SD and very low Chl-a
Turbidity and SD	Existence of correlation	Low turbidity and low SD
Turbidity and TR	Existence of correlation	Low Turbidity and high TR
Diameter of particles (Jul. 8) $1\mu >$	Mean : 35.6%	90%, 85% (from (TR-SS)/TS)
Sediment mixing ratio %	Correlation in Jun. Aug. Oct.	Low %
mg/l	Correlation in Jun. Aug. Oct.	Small quantity
pH and Chl-a	Good correlation in same cases	Constant, no relation with chl-a (Feb.)
Water absorbance	1.0 $\mu\text{m} >$ Almost zero absorbance 0.45 $\mu\text{m} >$	—
Light attenuation	Correlation in SS at the surface	Noting attenuation coefficient is very high (1% light intensity = 35 and 40cm)

Table S6.4.6(2) Water Quality Comparison between 1988 and 1989 (Feb. and Mar.)

	1988	1989 (Feb. and Mar.)
Water color	Brown, transparent	Blackish grey, not transparent
SD (cm)	39~81 (exclude Oct.)	Lower (25, 23)
pH	6.9~9.6	Lower (7.0, 7.6)
DO (%)	72~127	Lower (67, 76)
TP (µg/l)	73~166	Higher (203, 228)
PO ₄ -P (µg/l)	0~56	Higher (116, 134)
TN (µg/l)	715~3,338	Slightly higher (2,054, 3,280)
DO (µg/l)	410~1,102	Higher (1,025, 1,646)
NH ₄ -N (µg/l)	0~68	Higher (109, 132)
NO ₃ -N (µg/l)	0~1,412	Same level (594, 381)
Chl-a (µg/l)	28~102	Lower (34, 32)
TR (mg/l)	69~137	Higher (235, 245)
SS (mg/l)	6.5~59.6	Same level (23.7, 37.0)
TR-SS (mg/l) (1µm >)	96~115	Higher (208, 211)

Table S6.5.1 Physical and Chemical Characteristics of Sediment in the Lake (surface)

St.	Item	Organic N (mg/g-dw)	Organic C (mg/g-dw)	C/N	Density (g/cm ³)	Water Content (%)	Ignition Loss (%)
Feb. 17, '88	*E-a	2.37	38.52	16.3	-	97.3	-
	E-b	5.57	61.78	11.1	-	177.4	-
	E-c	4.99	77.58	15.5	-	195.9	-
	E-d	5.15	79.97	15.5	-	183.4	-
	E-e	4.70	70.96	15.1	-	186.5	-
	Mean	5.10	72.57	14.3	-	185.8	-
Jul. 9, '88	*St. 4	0.60	8.12	13.5	1.75	34.1	2.0
	St. 25	4.64	73.04	15.7	1.14	169.9	8.9
	St. 27	4.31	61.91	14.4	1.18	202.1	18.0
	St. 30	-	-	-	1.16	174.9	34.3
	St. 49	4.58	75.93	16.6	1.18	222.9	19.9
	*Mean	4.51	70.29	15.6	1.17	192.5	20.3

* Values at E-a and St. 4 were not used for calculation of mean values.

