

# Almacenamiento de Aguas Negras por Periodos Prolongados

Ernesto MURGUIA VACA

## RESUMEN

En el valle de El Mezquital se instaló un tanque de 9 m<sup>3</sup> para depositar aguas negras, con objeto de estudiar su transformación al ser sometidas a tiempos prolongados de almacenamiento.

Semanalmente se tomaron muestras para sus análisis físicos, químicos y biológicos. De los datos de laboratorio y campo se deduce que las aguas negras almacenadas mejoran sus características biológicas, en cuanto a contaminación y fenómenos de autodepuración, y que desde el punto de vista químico resultan igualmente útiles para el riego agrícola a que están destinadas.

## SYNOPSIS

A nine-cubic-meter tank for collecting sewage was installed in the El Mezquital Valley, State of Hidalgo, in order to study sewage's transformation when being submitted to long periods storage.

Samples were weekly taken to be subjected to chemical, physical, and biological analysis. According to the data provided by the laboratory and the field, sewage in storage is assumed to improve its biological characteristics regarding contamination, and self-purification phenomena. With respect to the chemical view, it was also found usable for the agricultural irrigation purposes it is used for at present.

## 1. ANTECEDENTES

El día 20 de octubre de 1966, se firmó un convenio entre la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México y la Facultad de Ingeniería, UNAM, a través de la División de Investigación, mediante el cual esta última se comprometió a efectuar un estudio tendiente a definir el comportamiento de las aguas negras almacenadas por periodos prolongados.

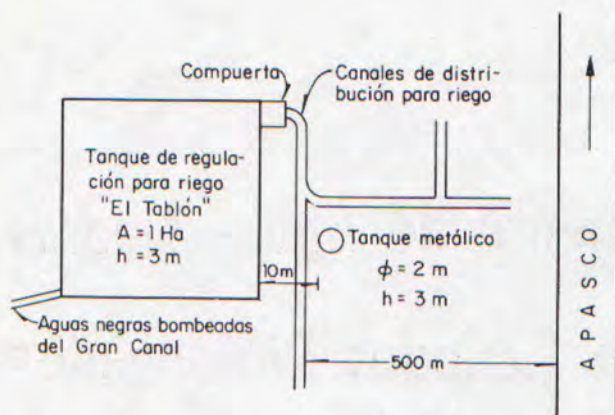
---

*Ernesto Murguía Vaca se recibió de Ingeniero Civil en la Facultad de Ingeniería, UNAM, en 1955; de Maestro en Ingeniería, en la División de Estudios Superiores de la propia Facultad, en 1965; es actualmente investigador principal de la Sección de Ingeniería Sanitaria del Instituto de Ingeniería, UNAM.*

Para realizar esta investigación se construyó un modelo hidráulico-biológico, el cual se colocó en la región de El Mezquital con objeto de tener condiciones climatológicas y calidad de agua iguales a las que serán objeto de un proyecto por parte de la Comisión.

Se instaló el modelo en las inmediaciones de un tanque regulador de aguas negras para riego, alimentado por bombeo desde canales derivados del gran canal del desagüe. Se quiso aprovechar este tanque para alimentar al modelo con cierta facilidad y correlacionar fenómenos en distintos volúmenes almacenados (fig 1).

Se propuso un tiempo de observación al modelo de seis meses como mínimo, dentro de los nueve que duraría el estudio.



Losa de concreto armado para asiento del tanque

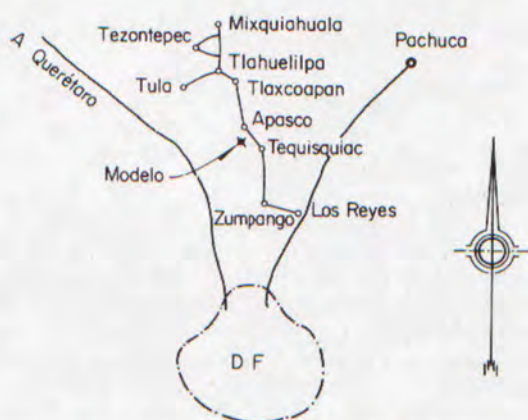


Fig. 1 Localización del modelo

Al inicio de la investigación se sostuvieron varias pláticas con las autoridades, tanto del gobierno como ejidales, en Apasco, Méx., y otras con la intervención de los ejidatarios usuarios del tanque regulador, para explicar el fin meramente técnico del estudio sin perjuicio de sus intereses. Intervino en dos ocasiones el Departamento de Asuntos Agrarios y Colonización de la Secretaría de Agricultura y Ganadería, para coordinar y legalizar el permiso de instalación del modelo y su operación, el cual se autorizó mediante acta levantada el 18 de diciembre de 1966.

## 2. DESCRIPCION DEL MODELO

El modelo es un tanque metálico, cilíndrico, de 2 m de diámetro y 3 m de altura, colocado sobre una losa de concreto armado y revestido de tabique para aislarlo térmicamente.

Para observar los cambios biológicos, físicos y químicos de las aguas almacenadas a distintas profundidades, se tomaron muestras de agua a tres distintos niveles, y para no ocasionar disturbios, se colocaron tubos de 5 cm de diámetro para dar salida a las aguas superficiales, de media profundidad y del fondo. Estos tubos parten del eje

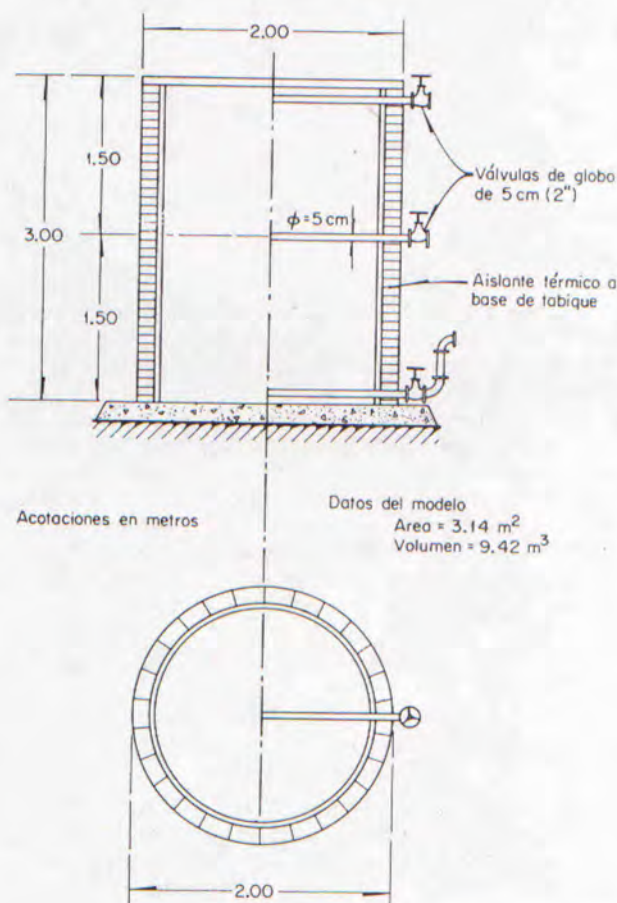


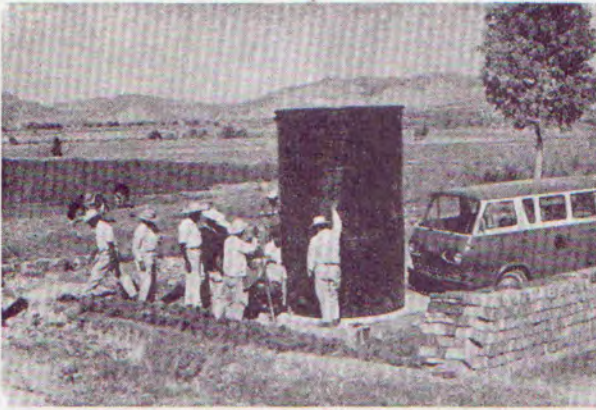
Fig. 2 Planta y corte del modelo

vertical del tanque hacia el exterior, y están provistos de válvulas para su operación (fig 2).

Se empezó a trabajar con el modelo el día 30 de enero de 1967, fecha en que se llenó con las aguas negras del tanque regulador.

## 3. PROGRAMA DE TRABAJO

Durante el tiempo de observación, que fue de nueve meses, se llevó a cabo la operación del modelo bajo el siguiente programa:



*Instalación de las válvulas para muestreo en tres niveles del tanque*



*Tanque listo para su funcionamiento*



*Llenado inicial del tanque con aguas negras tomadas de los canales de riego. Nótese la gran cantidad de espuma debida a detergentes*

- a) Visitas dos veces por semana durante los primeros 45 días
- b) Visitas semanales hasta la terminación de la observación
- c) Toma de muestras de agua del modelo y del tanque de regulación, los días de visita
- d) Reposición del nivel de agua en el modelo
- e) Registro de los datos ambientales

- f) Determinaciones mínimas de campo, de carácter físico-químico, a las aguas
- g) Determinaciones físicas, químicas y biológicas en el laboratorio
- h) Elaboración de conclusiones con los resultados de las observaciones.

#### 4. MUESTRAS

Se efectuaron 43 visitas al modelo, que corresponden al mismo número de muestreos; pero para efectos de elaboración de este informe, se consideraron principalmente los resultados de los 37 primeros.

Las muestras que se tomaron fueron las siguientes:

1. La correspondiente a la parte superficial del modelo
2. La extraída de la parte media del modelo
3. La proveniente del fondo del modelo
4. Las aguas negras superficiales del tanque regulador
5. La tomada del fondo del tanque regulador
6. La de una filtración de aguas negras.

Las muestras 1, 2 y 3 fueron tomadas del modelo a través de los tubos muestreadores después de dejar correr un volumen igual al contenido dentro de ellos.



*Muestreo de la parte superficial del modelo*



*Toma de la muestra profunda en el tanque regulador "de mampostería"*

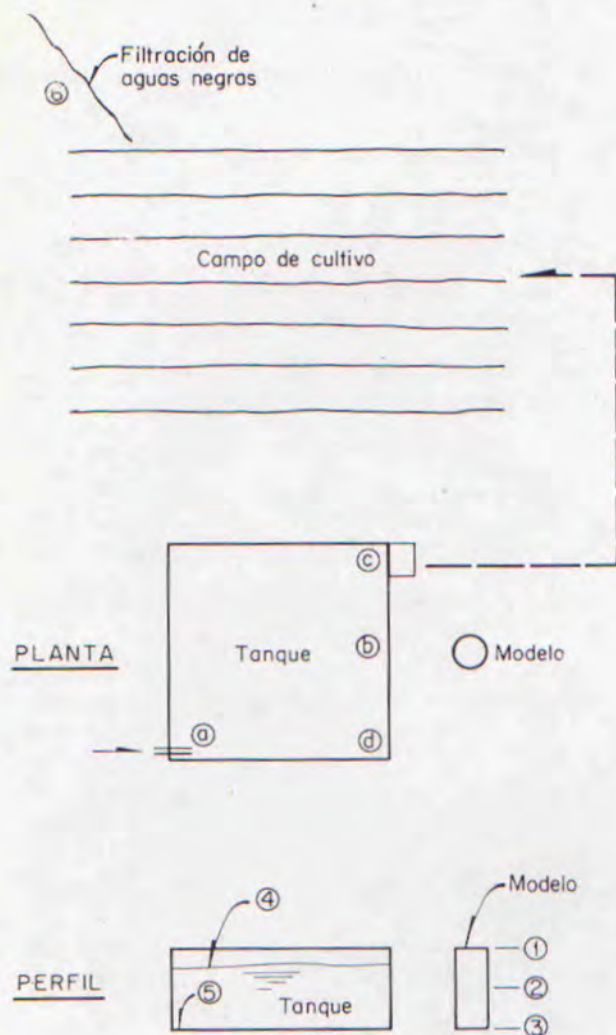


FIG. 3 Sitios de muestreo

Las muestras 4 y 5 se subdividieron en a, b, c y d, según fueran tomadas alternativamente del sitio de alimentación, de una parte lateral, de la zona de salida o de una esquina, respectivamente (fig 3). Debido a la similitud de los resultados, a partir de mayo se suspendieron los muestreos del fondo y se designó como muestra 4 simplemente a las aguas negras que se emplearon para alimentar al modelo, independientemente de su origen.

Las muestras 5 se extraían del fondo del tanque regulador, con una botella adaptada para tal fin, procurando no tomar los lodos acumulados.

La muestra 6 se comenzó a tomar desde el 4 de mayo, fecha en que se tuvo conocimiento de su existencia.

Una vez terminado el muestreo, se reponía el agua en el modelo hasta restituirle su nivel máximo; en este volumen quedaba incluido el de evaporación.

Se estima que la cantidad de agua extraída para los análisis, más la que se tiraba por concepto de limpieza de los tubos, representaba un



Almacenamiento de las muestras para su transporte al laboratorio

volumen de 25 lt. En la tabla 1 se consignan los volúmenes extraídos y repuestos en cada muestreo.

## 5. DETERMINACIONES DE CAMPO

Los datos y pruebas que se efectuaron en el campo se indican a continuación, agregando sus resultados y algunos comentarios:

### 5.1 Hora de observación

La hora promedio en que se hacían las observaciones varió de las 11:00 a las 12:45 h, con frecuencias máximas para las 11:30 y 12:00 h. Estos tiempos corresponden a los de mayor brillantez en el día.

### 5.2 Temperatura ambiente

La temperatura media a la hora de los muestreos fue de 19°C a la sombra. Se registró en el periodo de observación como temperatura mínima, 13.5°C el día 13 de febrero a las 12:00 h y, como máxima, 26°C el día 11 de mayo a las 12:00 h.

### 5.3 Temperaturas de las muestras

Las temperaturas de las muestras se consignan en la tabla 2. Se puede observar que durante los diez primeros muestreos, la temperatura del agua superficial en el modelo, muestra 1, es unos 4°C más baja que la ambiental registrada a mediodía. Para esas mismas fechas, las aguas de la parte media y del fondo del modelo, son iguales entre sí y menores que la superficial en 2 a 3°C.

Para los siguientes muestreos casi se igualan las temperaturas de la muestra 1 y del ambiente, mientras persiste la diferencia con las aguas de la parte media y del fondo.

La temperatura de la muestra 4 es muy variable y casi siempre mayor que la registrada para el ambiente.

La muestra 6 señala temperaturas muy semejantes a la ambiental.

TABLA 1

VOLUMEN EXTRAÍDO Y REPUESTO EN EL MUESTREO QUE SE INDICA

| enero    |     |         |       | febrero  |     |         |       |
|----------|-----|---------|-------|----------|-----|---------|-------|
| muestreo |     | volumen |       | muestreo |     | volumen |       |
| Nº       | día | extr    | rep   | Nº       | día | extr    | rep   |
| 1        | 2   | 3       | 4     | 5        | 6   | 7       | 8     |
| 1        | 18  |         |       | 3        | 2   | 25      | 150   |
| 2        | 30  | 0       | 9,400 | 4        | 6   | 25      | 75    |
|          |     |         |       | 5        | 9   | 25      | 150   |
|          |     |         |       | 6        | 13  | 25      | 150   |
|          |     |         |       | 7        | 16  | 25      | 150   |
|          |     |         |       | 8        | 20  | 25      | 150   |
|          |     |         |       | 9        | 23  | 25      | 75    |
|          |     |         |       | 10       | 27  | 25      | 225   |
| a        |     |         |       | 8        | 28  | 200     | 1,145 |
| b        |     |         |       |          |     | 10.7    |       |
| c        |     |         |       |          |     | 230     |       |

| julio    |     |         |     | agosto   |     |         |     |
|----------|-----|---------|-----|----------|-----|---------|-----|
| muestreo |     | volumen |     | muestreo |     | volumen |     |
| Nº       | día | extr    | rep | Nº       | día | extr    | rep |
| 25       | 26  | 27      | 28  | 29       | 30  | 31      | 32  |
| 29       | 6   | 25      | 120 | 33       | 3   | 25      | 210 |
| 30       | 13  | 25      | 225 | 34       | 10  | 20      | 210 |
| 31       | 20  | 25      | 150 | 35       | 17  | 20      | 75  |
| 32       | 27  | 25      | 210 | 36       | 24  | 20      | 75  |
|          |     |         |     | 37       | 31  | 20      | 90  |
| a4       | 28  | 100     | 705 | 5        | 35  | 105     | 660 |
| b        |     | 6.9     |     |          |     | 5.05    |     |
| c        |     | 375     |     |          |     | 495     |     |

| marzo    |     |         |     | abril    |     |         |       |
|----------|-----|---------|-----|----------|-----|---------|-------|
| muestreo |     | volumen |     | muestreo |     | volumen |       |
| Nº       | día | extr    | rep | Nº       | día | extr    | rep   |
| 9        | 10  | 11      | 12  | 13       | 14  | 15      | 16    |
| 11       | 2   | 25      | 75  | 17       | 6   | 25      | 300   |
| 12       | 6   | 25      | 120 | 18       | 13  | 25      | 225   |
| 13       | 9   | 25      | 75  | 19       | 20  | 25      | 225   |
| 14       | 16  | 25      | 225 | 20       | 27  | 25      | 225   |
| 15       | 20  | 25      | 315 |          |     |         |       |
| 16       | 30  | 25      | 150 |          |     |         |       |
| a6       | 31  | 150     | 960 | 4        | 28  | 100     | 1,005 |
| b        |     | 8.3     |     |          |     | 10.3    |       |
| c        |     | 300     |     |          |     | 260     |       |

| septiembre |     |         |     | octubre  |     |         |     |
|------------|-----|---------|-----|----------|-----|---------|-----|
| muestreo   |     | volumen |     | muestreo |     | volumen |     |
| Nº         | día | extr    | rep | Nº       | día | extr    | rep |
| 33         | 34  | 35      | 36  | 37       | 38  | 39      | 40  |
| 38         | 7   | 20      | 30  | 42       | 5   | 20      | 105 |
| 39         | 14  | 20      | 75  | 43       | 13  | 25      | 60  |
| 40         | 21  | 20      | 135 |          |     |         |     |
| 41         | 28  | 20      | 30  |          |     |         |     |
| a4         | 28  | 80      | 270 | 2        | 15  | 45      | 165 |
| b          |     | 2.16    |     |          |     | 3.19    |     |
| c          |     | 980     |     |          |     | 360     |     |

| mayo     |     |         |     | junio    |     |         |       |
|----------|-----|---------|-----|----------|-----|---------|-------|
| muestreo |     | volumen |     | muestreo |     | volumen |       |
| Nº       | día | extr    | rep | Nº       | día | extr    | rep   |
| 17       | 18  | 19      | 20  | 21       | 22  | 23      | 24    |
| 21       | 4   | 25      | 240 | 24       | 2   | 25      | 270   |
| 22       | 11  | 25      | 300 | 25       | 8   | 25      | 225   |
| 23       | 18  | 25      | 300 | 26       | 15  | 25      | 180   |
|          |     |         |     | 27       | 22  | 25      | 180   |
|          |     |         |     | 28       | 29  | 25      | 145   |
| a3       | 21  | 75      | 840 | 5        | 42  | 125     | 1,050 |
| b        |     | 11.6    |     |          |     | 7       |       |
| c        |     | 235     |     |          |     | 375     |       |

## NOTAS:

a) La suma de la columna Nº, indica el número de muestreos en el mes; la suma de la columna día, indica los días transcurridos hasta el último muestreo mensual

$$b) \text{ Pérdida} = \frac{\text{rep} - \text{extr}}{\text{días} \times \text{área}} \quad \text{lt/m}^2/\text{día}$$

c) Tiempo de retención promedio, en días

DATOS DEL MODELO

$$A = 3.14 \text{ m}^2$$

$$V = 9.42 \text{ m}^3$$

TABLA 2

DATOS DE CAMPO

| Muestreo |       | Hora<br>promedio | T°C<br>ambiente | Muestra 1 |      |     | Muestra 2 |     | Muestra 3 |     | Muestra 4 |      | Muestra 5 |    | Muestra 6 |      |      |     |
|----------|-------|------------------|-----------------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|------|-----------|----|-----------|------|------|-----|
| Nº       | fecha |                  |                 | T°C       | OD   | pH  | T°C       | pH  | T°C       | pH  | T°C       | pH   | T°C       | pH | T°C       | OD   | pH   |     |
| 1        | 18-1  | 12:30            | 18.5            |           |      |     |           |     |           |     |           |      |           |    |           |      |      |     |
| 2        | 30-1  | 12:00            | 16.0            |           |      |     |           |     |           |     |           |      |           |    |           |      |      |     |
| 3        | 2-2   | 11:30            | 19.0            | 14.0      | 0    | 7.4 | 13.0      | 7.4 | 13.0      | 7.4 | a         | 15.0 | 7.4       |    |           |      |      |     |
| 4        | 6-2   | 12:00            | 19.0            | 15.0      | 0    | 7.4 | 13.0      | 7.4 | 13.0      | 7.3 | a         | 19.5 | 7.4       | c  | 15.0      |      |      |     |
| 5        | 9-2   | 11:00            | 14.0            | 13.0      | 0    | 7.5 | 11.5      | 7.7 | 13.0      | 7.5 | b         | 17.5 | 7.2       | b  | 17.0      | 8.8  |      |     |
| 6        | 13-2  | 12:00            | 13.5            | 13.0      | 0    | 7.5 | 11.5      | 7.7 | 11.5      | 7.6 | c         | 19.0 | 7.2       | c  | 19.0      | 6.9  |      |     |
| 7        | 16-2  | 11:30            | 19.0            | 12.0      | 0    | 7.7 | 10.0      | 7.4 | 10.0      | 7.6 | d         | 15.0 | 7.1       | d  | 15.0      |      |      |     |
| 8        | 20-2  | 11:30            | 19.5            | 14.0      | 0    | 7.8 | 10.0      | 7.6 | 9.5       | 7.6 | a         | 18.0 | 7.5       | a  | 17.0      |      |      |     |
| 9        | 23-2  | 11:30            | 15.0            | 13.5      | 0    | 7.9 | 11.0      | 7.8 | 11.0      | 7.7 | b         | 17.0 | 7.2       | b  | 16.0      |      |      |     |
| 10       | 27-2  | 11:30            | 19.0            | 15.0      | 0    | 7.9 | 12.0      | 7.7 | 11.0      | 7.6 |           |      | 7.3       | c  | 19.0      |      |      |     |
| 11       | 2-3   | 12:15            | 19.0            | 15.0      | 0    | 7.9 | 12.0      | 7.9 | 12.0      | 7.6 |           |      | 7.0       | a  | 17.0      | 7.2  |      |     |
| 12       | 6-3   | 12:00            | 19.0            | 16.0      | 0.2  | 7.9 | 12.0      | 7.7 | 12.0      | 7.4 | b         | 21.0 | 7.1       | d  | 17.5      | 7.5  |      |     |
| 13       | 9-3   | 11:45            | 19.5            | 20.0      | 0.4  | 8.8 | 13.5      | 9.5 | 12.5      | 8.8 |           |      | 7.0       | b  | 18.0      | 8.4  |      |     |
| 14       | 16-3  | 12:45            | 18.0            | 22.5      | 0    | 7.8 | 15.0      | 8.7 | 13.0      | 8.3 | c         | 21.0 | 7.0       |    |           |      |      |     |
| 15       | 20-3  | 11:40            | 17.0            | 17.0      | 0.2  | 8.0 | 13.5      | 8.5 | 13.5      | 9.0 |           |      |           | c  | 20.0      | 7.5  |      |     |
| 16       | 30-3  | 12:15            | 22.5            | 19.0      | 0    | 8.2 | 13.0      | 8.3 | 13.0      | 8.4 |           |      |           | d  | 19.0      | 7.7  |      |     |
| 17       | 6-4   | 11:30            | 18.5            | 19.0      | 0    | 8.3 | 13.0      | 8.2 | 14.0      | 8.1 | b         | 19.0 | 7.8       | a  | 19.0      | 7.4  |      |     |
| 18       | 13-4  | 11:45            | 21.0            | 18.0      | 0.4  | 8.3 | 13.0      | 8.4 | 13.0      | 8.4 | c         | 23.0 | 7.9       |    |           |      |      |     |
| 19       | 20-4  | 12:00            | 23.0            | 20.0      | 20.0 | 8.2 | 14.5      | 8.0 | 14.0      | 7.9 | d         | 23.0 | 7.4       | c  | 20.0      | 8.0  |      |     |
| 20       | 27-4  | 12:00            | 20.0            | 19.5      | 14.3 | 8.3 | 15.5      | 8.2 | 15.0      | 8.1 | a         | 23.0 | 7.5       |    |           |      |      |     |
| 21       | 4-5   | 11:30            | 22.0            | 20.0      | 4.1  | 8.7 | 16.5      | 8.6 | 16.5      | 8.6 | b         | 21.5 | 7.6       |    |           | 20.0 | 6.6  |     |
| 22       | 11-5  | 12:00            | 26.0            | 23.0      | 15.3 | 8.8 | 12.0      | 8.6 | 11.5      | 8.5 |           |      |           |    |           | 19.0 |      |     |
| 23       | 18-5  | 12:00            | 19.0            | 19.0      | 18.6 | 9.0 | 17.0      | 8.8 | 16.5      | 8.2 |           | 22.5 | 7.6       |    |           | 21.0 | 6.0  |     |
| 24       | 2-6   | 11:30            | 21.0            | 21.0      | 20.0 | 9.1 | 16.0      | 9.0 | 16.0      | 8.9 |           | 26.0 | 7.6       |    |           | 25.0 | 6.8  |     |
| 25       | 8-6   | 12:00            | 21.5            | 21.0      | 0    | 8.9 | 16.0      | 8.9 | 16.0      | 8.9 |           | 23.0 | 7.9       |    |           | 24.0 | 8.8  |     |
| 26       | 15-6  | 11:15            | 20.0            | 20.0      | 0    | 8.8 | 17.0      | 8.8 | 17.0      | 8.8 |           | 21.0 | 7.5       |    |           | 18.0 | 3.6  |     |
| 27       | 22-6  | 11:30            | 20.0            | 21.5      | 0    | 8.8 | 17.0      | 8.8 | 17.0      | 8.8 |           | 21.5 | 7.8       |    |           | 18.0 | 5.0  |     |
| 28       | 29-6  | 11:30            | 20.0            | 20.0      | 0    | 8.5 | 17.0      | 8.5 | 18.0      | 8.6 |           |      |           |    |           | 18.0 | 7.3  |     |
| 29       | 6-7   | 11:30            | 17.0            | 19.0      | 0    | 8.6 | 16.0      | 8.6 | 16.0      | 8.6 |           | 21.5 | 7.6       |    |           | 18.0 | 3.0  |     |
| 30       | 13-7  | 11:30            | 20.0            | 20.0      | 0    | 8.3 | 17.0      | 8.2 | 16.5      | 8.1 |           | 22.0 | 7.7       |    |           | 19.0 | 4.8  |     |
| 31       | 20-7  | 11:30            | 16.5            | 18.5      | 0    | 8.4 | 16.0      | 8.4 | 16.0      | 8.3 |           | 21.0 | 7.5       |    |           | 19.0 | 7.6  |     |
| 32       | 27-7  | 11:30            | 17.0            | 19.0      | 0    | 8.4 | 16.0      | 8.4 | 16.0      | 8.3 |           | 21.0 | 7.7       |    |           | 18.0 | 3.8  |     |
| 33       | 3-8   | 11:30            | 20.0            | 21.0      | 0    | 8.4 | 16.0      | 8.4 | 16.0      | 8.3 |           | 21.0 | 7.5       |    |           | 18.0 | 7.4  |     |
| 34       | 10-8  | 11:30            | 20.5            | 20.5      | 11.4 | 8.8 | 18.0      | 8.6 | 17.0      | 8.5 |           | 23.0 | 7.5       |    |           | 18.0 | 5.2  |     |
| 35       | 17-8  | 11:45            | 19.0            | 22.5      | 0    |     | 16.5      |     |           |     |           |      |           |    |           |      | 19.0 | 3.6 |
| 36       | 24-8  | 11:30            | 20.0            | 18.0      |      |     |           |     |           |     |           |      |           |    |           |      | 18.0 | 3.9 |
| 37       | 31-8  | 12:00            | 17.5            | 18.0      | 16.3 | 9.0 |           |     | 16.0      | 8.8 |           |      |           |    |           |      | 18.0 | 3.4 |
| 38       | 7-9   | 12:00            | 16.5            | 17.5      | 10.9 | 8.5 |           |     | 16.0      | 8.4 |           |      |           |    |           |      | 18.0 | 3.8 |
| 39       | 14-9  | 11:30            | 17.0            | 18.0      | 5.1  | 8.6 |           |     | 15.0      | 9.0 |           | 21.0 | 7.7       |    |           |      | 18.0 | 3.0 |
| 40       | 21-9  | 11:30            | 21.0            | 19.0      | 0    | 8.5 |           |     | 16.0      | 8.4 |           | 20.0 | 8.2       |    |           |      |      |     |
| 41       | 28-9  | 12:00            | 17.0            | 16.0      | 2.3  | 9.0 |           |     | 19.0      | 7.5 |           |      |           |    |           |      |      |     |
| 42       | 5-10  | 12:00            | 17.0            | 18.0      | 15.0 |     |           |     | 14.0      | 9.0 |           | 20.0 |           |    |           | 18.0 | 4.4  |     |
| 43       | 13-10 | 12:00            | 17.0            | 17.0      | 3.3  | 9.1 | 15.0      |     | 14.0      |     |           | 21.0 | 9.2       |    |           |      |      |     |

### 5.4 Oxígeno disuelto

Se hicieron determinaciones de oxígeno disuelto a las muestras 1, 2, 3 y 6, tabla 2; se omiten los valores para las muestras 2 y 3 porque, excepto en el último muestreo, siempre resultaron nulos, aun cuando en la superficie del modelo la cantidad excediera a la de saturación.

Se detectó por primera vez oxígeno disuelto en la muestra 1 después de 31 días de almacenamiento, conservándose por 45 días durante los cuales se llegó a tener valores hasta de 20.0 miligramos por litro (fig 4).

Durante los 55 días siguientes a este periodo, no se obtuvo oxígeno disuelto; la causa probable de que desapareciera se atribuye a una interrupción en la reposición del agua, que provocó un desequilibrio en el metabolismo de la vida acuática del modelo.

No obstante lo escaso de la documentación, se puede observar que el periodo de regeneración de oxígeno disuelto varía de 30 a 60 días. Para corroborar lo anterior, se debe mencionar que el tanque regulador, que contenía aguas negras crudas, se dejó de usar aproximadamente desde el 24 de agosto por la temporada de lluvias y que,

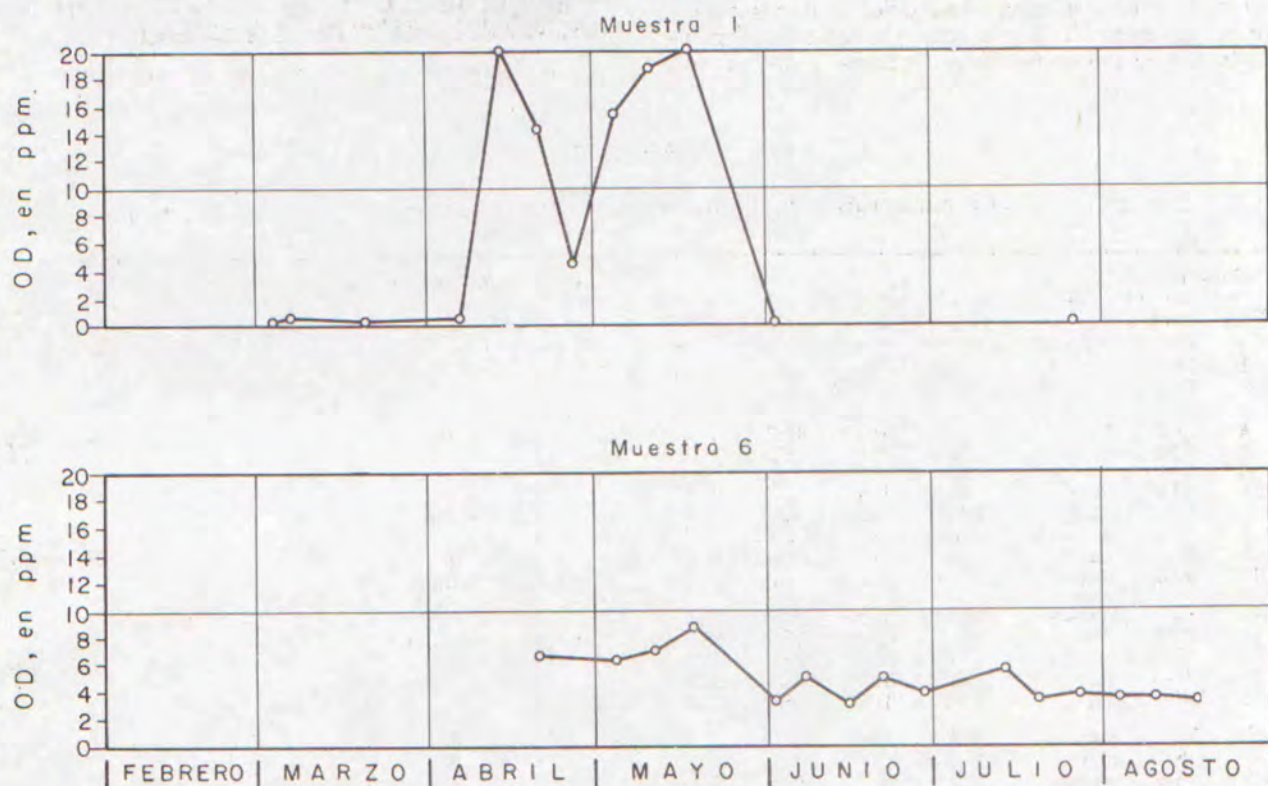


FIG. 4 Oxígeno disuelto



Fijación del oxígeno disuelto a las muestras superficial y media del tanque



Agregado de almidón a una de las muestras para cerciorarse de que existe oxígeno disuelto

en el último muestreo efectuado el 13 de octubre, contuvo 18.0 miligramos por litro de oxígeno disuelto; es decir, que después de 45 días, se detectó por vez primera en el almacenamiento de aguas negras.

La muestra 6 siempre tuvo oxígeno disuelto; sus valores variaron de un mínimo de 3.0 a un máximo de 8.8 miligramos por litro.

### 5.5 Potencial hidrógeno, pH

Se les hicieron lecturas de pH a todas las muestras del modelo y a las aguas negras del tanque regulador. Los valores aparecen en la tabla 2. Se observa que son muy parecidos los resultados de las muestras 1, 2 y 3, y que solamente al principio se obtuvieron valores iguales a los de las



Medición del pH a cada una de las muestras

TABLA 3

LECTURAS DEL EXPOSÍMETRO PARA DETERMINAR LA PENETRACIÓN DE LUZ EN EL MODELO

| Muestreo |       | Cielo   | Sombra | Profundidad en cm |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Prof<br>lectura<br>cero |
|----------|-------|---------|--------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------------|
| Nº       | Fecha |         |        | 5                 | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |                         |
| 1        | 18-1  |         |        |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                         |
| 2        | 30-1  |         |        |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                         |
| 3        | 2-2   |         |        |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                         |
| 4        | 6-2   | nubes   | 15.5   | 16+               | 14.2 | 10.0 | 6.5  | 2.0  | 0    |      |      |      |      | 0.30                    |
| 5        | 9-2   | desp.   | 15.7   | 16+               | 15.0 | 12.0 | 7.5  | 3.5  | 1.0  | 0    |      |      |      | 0.35                    |
| 6        | 13-2  | desp.   | 16.0   | 16+               | 15.0 | 10.5 | 6.5  | 3.0  | 0    |      |      |      |      | 0.30                    |
| 7        | 16-2  | desp.   | 15.0   | 14.0              | 13.0 | 10.0 | 7.0  | 3.0  | 1.0  | 0    |      |      |      | 0.35                    |
| 8        | 20-2  | nubes   | 10.0   | 11.0              | 10.0 | 8.0  | 4.0  | 0    |      |      |      |      |      | 0.25                    |
| 9        | 23-2  | bruma   | 15.0   | 14.5              | 14.0 | 10.5 | 7.0  | 3.0  | 0    |      |      |      |      | 0.30                    |
| 10       | 27-2  | bruma   | 15.0   | 16.0              | 15.0 | 13.0 | 8.0  | 4.5  | 1.0  | 0    |      |      |      | 0.35                    |
| 11       | 2-3   | nubes   | 16.0   | 14.5              | 13.5 | 12.0 | 8.0  | 4.0  | 0    |      |      |      |      | 0.30                    |
| 12       | 6-3   | bruma   | 15.0   | 16.0              | 15.5 | 13.0 | 8.0  | 4.5  | 1.0  | 0    |      |      |      | 0.35                    |
| 13       | 9-3   | bruma   | 15.5   | 16.0              | 15.0 | 12.5 | 8.0  | 4.0  | 0    |      |      |      |      | 0.30                    |
| 14       | 16-3  | nubes   | 15.5   | 16.0              | 13.5 | 12.0 | 11.0 | 8.5  | 5.5  | 2.0  | 0    |      |      | 0.40                    |
| 15       | 20-3  | desp.   | 15.5   | 16+               | 16.0 | 15.0 | 9.5  | 8.5  | 5.7  | 2.0  | 0    |      |      | 0.40                    |
| 16       | 30-3  | desp.   | 16.0   | 16+               | 16.0 | 15.0 | 13.0 | 8.5  | 6.0  | 2.0  | 0    |      |      | 0.40                    |
| 17       | 6-4   | desp.   | 15.5   | 16+               | 15.5 | 14.5 | 12.0 | 8.5  | 5.0  | 1.0  | 0    |      |      | 0.40                    |
| 18       | 13-4  | nubes   | 15.0   | 16+               | 15.5 | 12.0 | 9.0  | 7.0  | 4.0  | 0    |      |      |      | 0.35                    |
| 19       | 20-4  | desp.   | 15.7   | 16+               | 15.5 | 15.0 | 13.0 | 9.5  | 6.5  | 3.5  | 0    |      |      | 0.40                    |
| 20       | 27-4  | nubes   | 16.0   | 16+               | 15.8 | 14.5 | 13.0 | 12.0 | 7.0  | 5.0  | 2.0  | 0    |      | 0.45                    |
| 21       | 4-5   | nubes   | 16.0   | 16+               | 16.0 | 15.0 | 13.5 | 10.5 | 8.0  | 6.0  | 3.5  | 1.0  | 0    | 0.50                    |
| 22       | 11-5  | desp.   |        |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                         |
| 23       | 18-5  | nublado | 12.0   | 12.0              | 10.8 | 9.6  | 8.5  | 6.8  | 4.5  | 2.0  | 0    |      |      | 0.40                    |
| 24       | 2-6   | nublado | 13.0   | 10.0              | 10.0 | 9.5  | 9.5  | 9.0  | 8.5  | 8.0  | 7.5  | 6.8  | 5.5  | 0.70                    |
| 25       | 8-6   | bruma   | 9.5    | 9.5               | 9.3  | 9.0  | 8.7  | 8.0  | 8.5  | 8.0  | 7.8  | 6.0  | 5.0  | 0.70                    |
| 26       | 15-6  | nubes   |        |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                         |
| 27       | 22-6  | desp.   | 15.0   | 15.0              | 15.0 | 14.5 | 14.0 | 13.8 | 13.0 | 12.2 | 11.1 | 9.9  | 8.7  | 0.80                    |
| 28       | 29-6  | nubes   | 11.5   | 12.0              | 11.5 | 11.2 | 10.9 | 10.2 | 10.0 | 9.3  | 8.7  | 7.8  | 6.2  | 0.75                    |
| 29       | 6-7   | nublado | 11.2   | 10.0              | 9.9  | 9.7  | 9.2  | 9.0  | 8.0  | 8.0  | 7.9  | 7.4  | 5.8  | 0.80                    |
| 30       | 13-7  | nubes   | 9.5    |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.80                    |
| 31       | 20-7  | desp.   | 11.5   |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.80                    |
| 32       | 27-7  | desp.   | 13.5   | 14.2              | 14.0 | 13.9 | 13.6 | 13.2 | 13.0 | 12.0 | 11.5 | 10.0 | 10.0 | 1.00                    |
| 33       | 3-8   | nublado | 11.5   | 12.5              | 11.0 | 10.5 | 10.0 | 9.8  | 9.2  | 8.5  | 8.0  | 7.3  | 6.8  | 1.00                    |
| 34       | 10-8  |         |        |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                         |
| 35       | 17-8  | nubes   | 10.5   | 10.8              | 11.5 | 11.0 | 9.2  | 9.2  | 9.5  | 10.0 | 9.5  | 9.0  | 9.0  | 1.10                    |
| 36       | 24-8  | nublado |        |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                         |
| 37       | 31-8  | nublado |        |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                         |
| 38       | 7-9   | desp.   |        |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1.20                    |

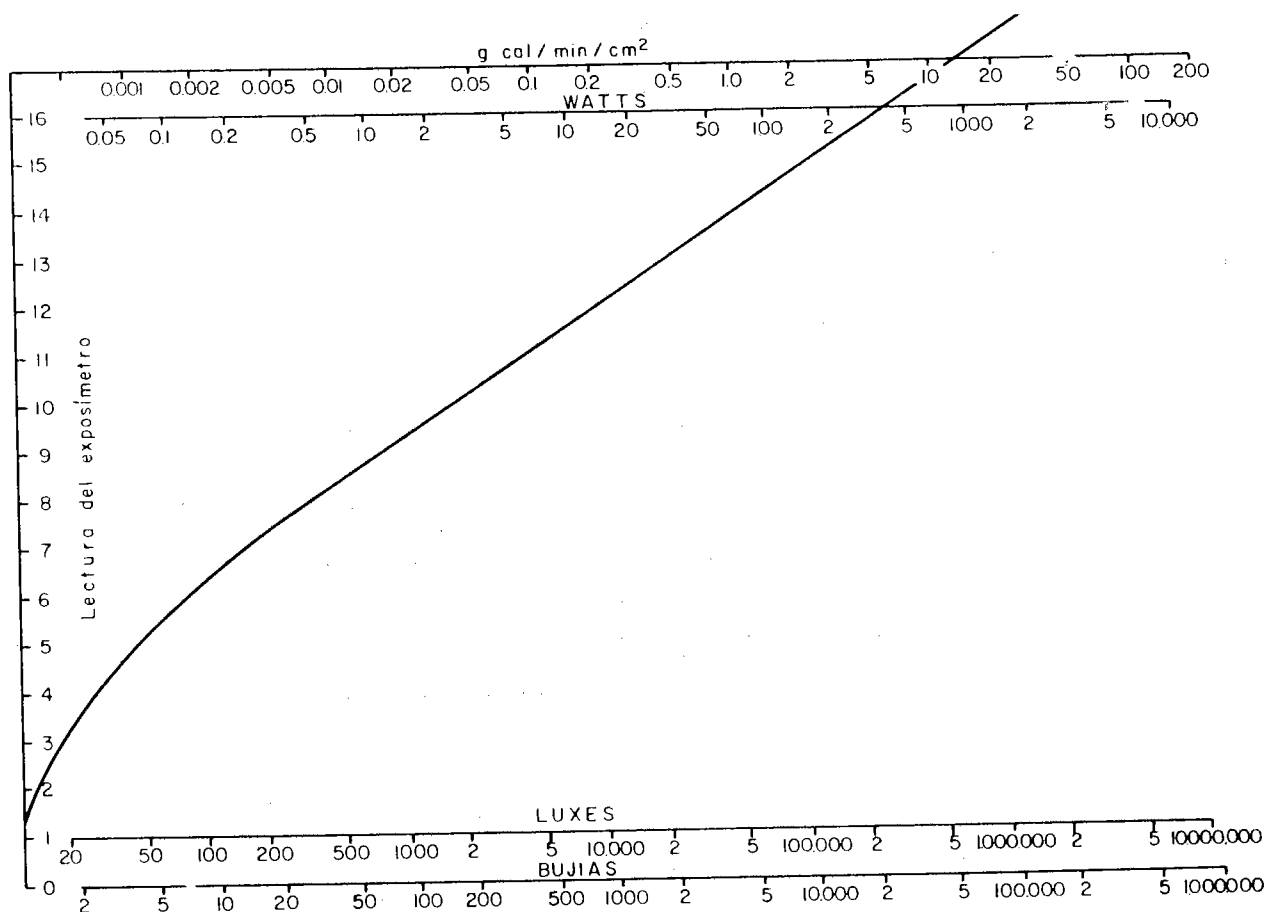


FIG. 5 Curva que relaciona las lecturas del exposímetro con las unidades indicadas

aguas negras, para incrementarse hasta sobrepasar a 9.0 y sin decrecer a menos de 8.0.

Estas lecturas, aunadas a los datos de temperatura, indican que todo el proceso se ha desarrollado bajo condiciones aerobias.

### 5.6 Penetración de luz

Mediante una celda fotoeléctrica y un sistema de medición, semejante a los exposímetros de las cámaras fotográficas, se estuvieron registrando las intensidades luminosas a distintas profundidades de los tanques, las cuales se presentan en la tabla 3.

Se procedía a leer la intensidad luminosa a la sombra, para tener un punto de comparación con las lecturas que se hacían inmediatamente después a distintas profundidades del agua. Estas lecturas se transformaron a  $\text{gr cal/cm}^2/\text{día}$ , mediante la curva de calibración que se muestra en la fig 5.

Para este objeto también se registró en cada muestreo la presencia o ausencia de nubes. En la mayoría de los casos el cielo estuvo despejado; en algunas ocasiones había nubes aisladas, pero sin interferir los rayos solares. Solamente cuatro visitas se hicieron bajo un cielo nublado o con lluvias muy ligeras.

La bruma que se aprecia en este sitio es provocada por el humo y el polvo provenientes de la fábrica de cemento ubicada en Apasco, Méx., que está a escasos 5 km del modelo.

En el tanque regulador que contiene aguas negras crudas, el cero de la escala de lecturas del exposímetro siempre se tuvo a 30 ó 40 cm de profundidad; en cambio, en el modelo se comenzó con el cero a 30 ó 35 cm, profundizándose paulatinamente hasta llegar a 1.20 m.

La tabla 4, que contiene los valores medios de radiación solar en distintas latitudes al nivel del mar, sirvió de base para la construcción de la fig 6, que a su vez se obtuvo comparando las curvas en la latitud  $47^\circ\text{N}$  a 200 y 2,000 msnm.

Con la fig 6, que corresponde a los datos de latitud  $20^\circ\text{N}$  y 2,000 m de altura, se llegaron a definir los  $\text{gr cal/cm}^2/\text{día}$ .

La suma de las calorías, para los meses de abril a julio, es aproximadamente de 90,000, valor que concuerda con el anotado en la fig 7, correspondiente a los datos medidos en el sitio de muestreo.

La gráfica de esta figura se desvía a la izquierda con respecto a la curva normal, la cual se observa en la fig 5; esto indica que mayo es el mes con mayor iluminación.

TABLA 4

VALORES MEDIOS DE RADIACIÓN SOLAR, EN  $\text{cal/cm}^2/\text{día}$  PARA EL DÍA 15 DE CADA MES, EN DISTINTAS LATITUDES AL NIVEL DEL MAR

| Lat. | E   | F   | M   | A   | M   | J   | J   | A   | S   | O   | N   | D   |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0°   | 480 | 512 | 530 | 518 | 500 | 485 | 490 | 520 | 550 | 547 | 507 | 475 |
| 15°  | 425 | 480 | 545 | 575 | 575 | 567 | 570 | 567 | 540 | 485 | 427 | 400 |
| 30°  | 297 | 380 | 482 | 565 | 617 | 625 | 610 | 567 | 490 | 400 | 312 | 270 |
| 45°  | 152 | 245 | 367 | 495 | 582 | 625 | 605 | 537 | 415 | 285 | 180 | 130 |
| 50°  | 112 | 175 | 310 | 460 | 550 | 585 | 570 | 490 | 350 | 215 | 117 | 55  |
| 60°  | 77  | 155 | 240 | 420 | 560 | 627 | 602 | 477 | 295 | 140 | 47  | 23  |
| 75°  | 0   | 7   | 85  | 280 | 515 | 637 | 592 | 397 | 155 | 32  | 0   | 0   |
| 90°  | 0   | 0   | 0   | 155 | 482 | 667 | 610 | 303 | 27  | 0   | 0   | 0   |

Por interpolación, a 20°N y al nivel del mar

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 380 | 450 | 530 | 575 | 590 | 590 | 590 | 570 | 530 | 460 | 390 | 360 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

20°N y 2,000 msnm\*

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 420 | 500 | 610 | 700 | 750 | 770 | 760 | 700 | 620 | 520 | 430 | 400 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

\* véase fig 5

### 5.7 Pérdidas de agua

Se considera como pérdida a la diferencia entre el volumen de agua repuesto y el extraído. En la tabla 1 se indican los valores de las pérdidas mensuales en  $\text{lt/m}^2/\text{día}$ . Varían de 2.16 en septiembre por efecto de la lluvia, a 11.6 en mayo por la ausencia de ésta y a una alta evaporación. El valor medio es de  $9.0 \text{ lt/m}^2/\text{día}$ .

### 5.8 Tiempos de retención

Considerando el volumen del modelo, que es de 9,420 lt, y los volúmenes de agua negra para restituirle su nivel, se llegan a definir los tiempos de retención promedio en cada mes de observación, los cuales se consignan en la tabla 1.

Los tiempos varían de 230 a 980 días, con un promedio de 325 días, o sea de 10 meses; este tiempo de retención se considera suficiente para tener el *tiempo prolongado de almacenamiento*, objeto de este estudio.

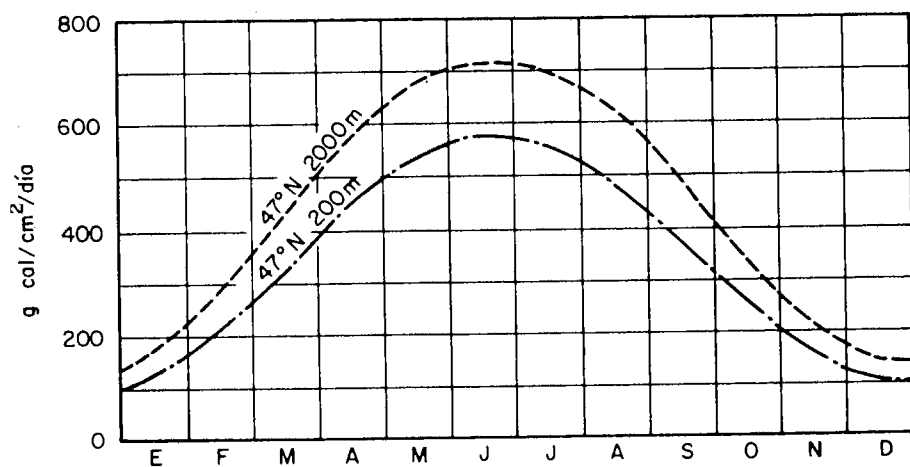
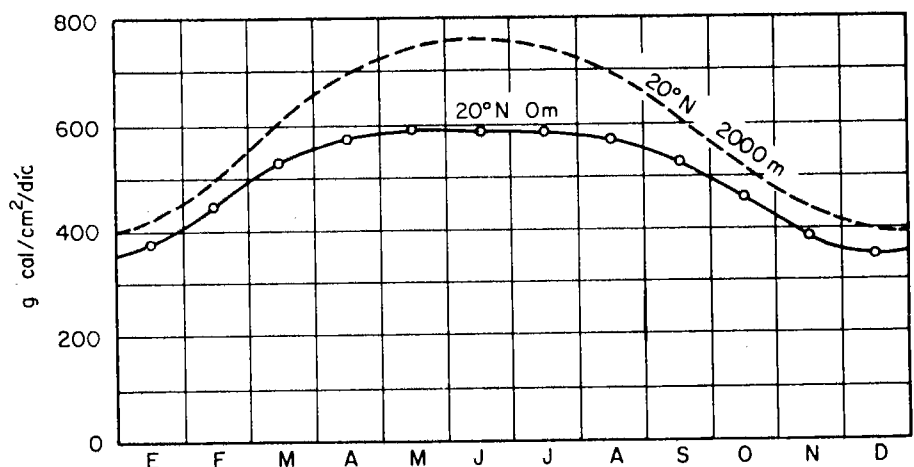
### 5.9 Olor

Aun cuando no se llevó un registro de olor, puede indicarse que en el campo siempre se percibió en forma intensa. Es de hacer notar que este olor fue muy débil en los últimos muestreos del estudio, debido probablemente a que el tanque regulador no se usaba y comenzó a trabajar como laguna de estabilización, aunado a la dilución con las aguas de lluvia.

## 6. DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE LABORATORIO

Los análisis que se hicieron en laboratorio, se apegaron a las indicaciones de los métodos estándar para Análisis de Aguas y Aguas Negras, excepto para las determinaciones de detergentes y de sulfatos, en los que se emplearon procedimientos más rápidos, pero confiables. Las determinaciones que se hicieron fueron las necesarias para llegar a definir comparaciones entre las aguas negras y las aguas almacenadas, así como las correlaciones y eficiencias de los fenómenos de autodepuración que se llevaron a cabo; estas determinaciones, que se muestran en la tabla 5, son:

Alcalinidad a la fenolftaleína (AF)  
 Alcalinidad al anaranjado de metilo (AM)  
 Dureza total (DT)  
 Dureza cálcica (DCa)  
 Dureza magnésica (DMg)  
 Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )  
 Sulfatos ( $\text{SO}_4^{=}$ )  
 Nitrógeno de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )  
 Nitrógeno de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )  
 Nitrógeno orgánico (N Org)  
 Sólidos totales (ST)  
 Sólidos totales fijos (STF)  
 Sólidos suspendidos (SS)  
 Sólidos suspendidos volátiles (SSV)  
 Sólidos suspendidos fijos (SSF)  
 Sólidos disueltos (SD)  
 Sólidos disueltos volátiles (SDV)  
 Sólidos disueltos fijos (SDF)



|                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 20° N<br>y<br>2000<br>m | 420 | 500 | 600 | 700 | 750 | 770 | 760 | 700 | 620 | 520 | 430 | 400 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

Suma de abril a julio, en calorías = 90,000

FIG. 6. Valores medios de radiación, en gr cal/cm<sup>2</sup>/día, para el día 15 de cada mes

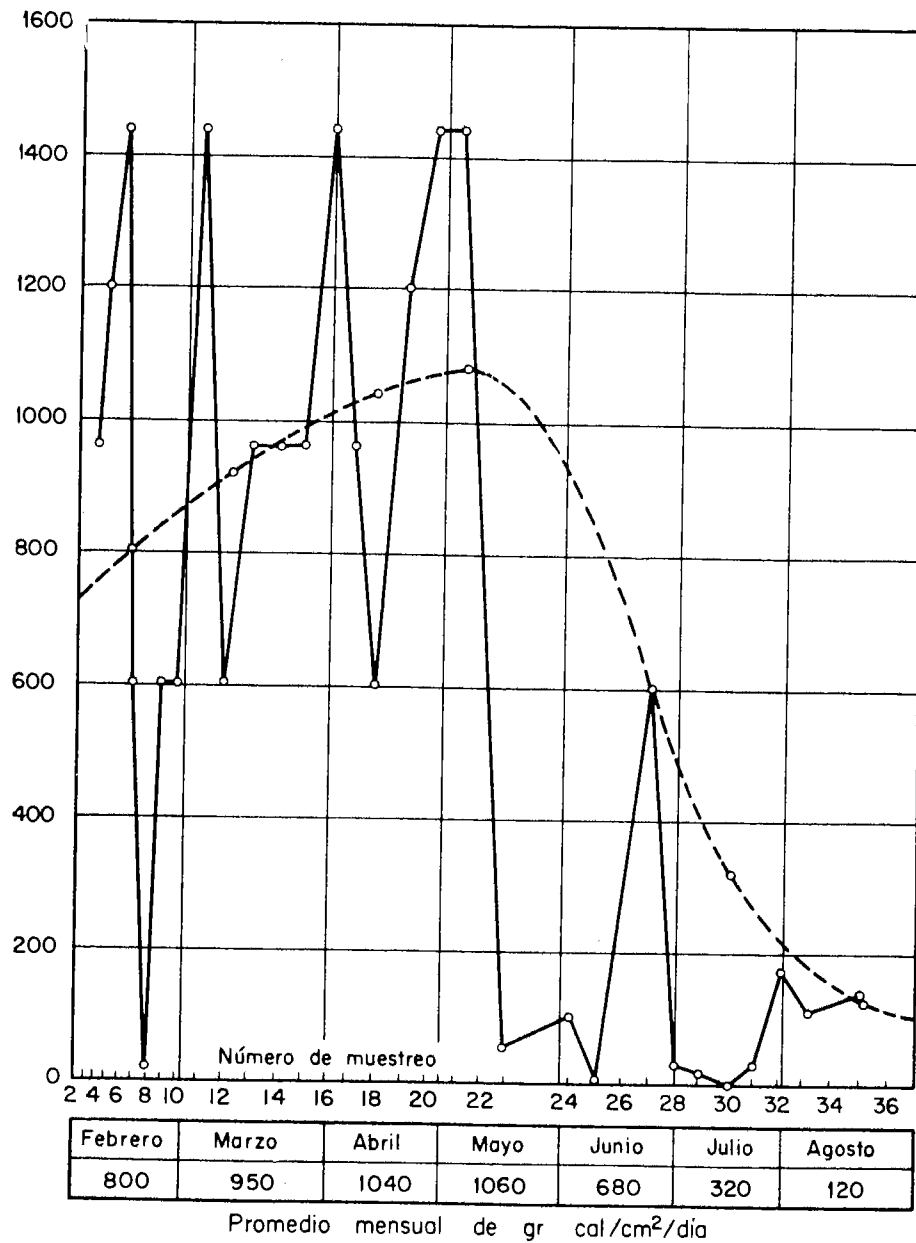
Fig. 7 Curva de gr cal/cm<sup>2</sup>/día

TABLA 5  
NÚMERO DE ANÁLISIS EN LOS 37 PRIMEROS MUESTREOS\*

| Deter-<br>minación              | Número de la muestra |    |    |     |     |   | Suma |
|---------------------------------|----------------------|----|----|-----|-----|---|------|
|                                 | 1                    | 2  | 3  | 4** | 5** | 6 |      |
| AF                              | 33                   | 28 | 31 | 35  | 16  | 9 | 152  |
| AM                              | 33                   | 28 | 31 | 35  | 16  | 9 | 152  |
| DT                              | 32                   | 26 | 30 | 35  | 16  | 5 | 144  |
| DCa                             | 32                   | 26 | 30 | 35  | 16  | 5 | 144  |
| DMg                             | 32                   | 26 | 30 | 35  | 16  | 5 | 144  |
| Cl <sup>-</sup>                 | 31                   | 25 | 28 | 35  | 16  | 9 | 144  |
| SO <sub>4</sub>                 | 9                    | 5  | 7  | 4   | 0   | 0 | 25   |
| N, NO <sub>2</sub> <sup>=</sup> | 15                   | 15 | 15 | 28  | 16  | 5 | 94   |
| N, NO <sub>3</sub>              | 14                   | 14 | 14 | 28  | 16  | 4 | 90   |
| N, org                          | 3                    | 0  | 0  | 3   | 0   | 4 | 10   |
| ST                              | 19                   | 15 | 15 | 30  | 15  | 4 | 98   |
| STF                             | 19                   | 15 | 15 | 30  | 15  | 4 | 98   |
| SS                              | 19                   | 15 | 15 | 30  | 15  | 4 | 98   |
| SSV                             | 19                   | 15 | 15 | 29  | 14  | 4 | 96   |
| SSF                             | 19                   | 15 | 15 | 26  | 14  | 4 | 96   |
| SD                              | 19                   | 15 | 15 | 26  | 14  | 4 | 93   |
| SDF                             | 19                   | 15 | 15 | 26  | 14  | 4 | 93   |
| SI                              | 16                   | 15 | 15 | 28  | 15  | 4 | 93   |
| DQO                             | 12                   | 17 | 8  | 25  | 13  | 6 | 71   |
| DBO                             | 33                   | 28 | 31 | 33  | 14  | 1 | 140  |
| ABS                             | 18                   | 12 | 11 | 24  | 11  | 8 | 84   |
| CE                              | 7                    | 4  | 5  | 4   | 0   | 1 | 21   |

\* Incluye el muestreo 1 que solamente se hizo a las aguas negras crudas

\*\* Se consideran las variantes a, b, c y d

Sólidos Imhoff (SI)  
Demanda química de oxígeno (DQO)  
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)  
Contenido de detergentes (ABS)  
Potencial hidrógeno (pH)  
Conductividad eléctrica (CE)

Además, por cálculo se determinaron:

Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)  
Calcio (Ca<sup>++</sup>)  
Magnesio (Mg<sup>++</sup>)  
Sodio (Na<sup>+</sup>)  
Proporción de adsorción de sodio (PAS o RAS)

Porcentaje de sodio intercambiable (% Na inter)

### 6.1 Alcalinidad a la fenolftaleína

Si se observan los valores de AF en la tabla 9, que corresponden a los de las aguas negras crudas, se puede apreciar que en general son nulos. Por lo tanto, también son nulos para las primeras determinaciones en las muestras 1, 2 y 3 (tablas 6, 7 y 8).

A partir del muestreo 12 se detecta AF en el agua del modelo; sus valores se incrementan pero sin orden definido.

Como la titulación con fenolftaleína define la alcalinidad debida a los iones oxhidrilo, OH<sup>-</sup>, y carbonato, CO<sub>3</sub><sup>=</sup>, quiere decir que estos iones no se encuentran en las aguas negras crudas y que, según lo estudiado en el modelo, comienzan a aparecer después de un mes de almacenamiento.

### 6.2 Alcalinidad al anaranjado de metilo

La AM mide los iones bicarbonato, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, y según los datos de los análisis efectuados, se interpreta como que estos comienzan a incrementarse tan pronto se inicia un almacenamiento. En la tabla 9 se hallan los valores de esta determinación para las aguas negras crudas. El valor promedio es de 600 ppm para el CaCO<sub>3</sub>. Los valores consignados en las tablas 6, 7 y 8 son los correspondientes a las muestras 1, 2 y 3 del modelo y van incrementándose de 648 a poco más de 810 ppm en una forma paulatina, conforme al tiempo de almacenamiento.

### 6.3 Dureza

La dureza total es ocasionada por la presencia de Ca y Mg en el agua, en forma de carbonato

TABLA 6

| Muestreo |       | D E T E R M I N A C I O N E S |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     |     |      |       |       |
|----------|-------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|--------------------|--------------------|--------|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-------|-----|-----|------|-------|-------|
| Nº       | Fecha | AF                            | AM  | DI  | DCa | DMg | Cl  | SO <sub>4</sub> | N, NO <sub>2</sub> | N, NO <sub>3</sub> | N. org | ST    | STV | STP   | SS  | SSV | SSF | SD    | SDV | SDF   | SI  | DQO | DBO  | ABS   | CE    |
| 1        | 18-1  |                               |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     |     |      |       |       |
| 2        | 30-1  | 0                             | 643 | 192 | 103 | 89  | 292 |                 | 0.006              | 0.15               |        | 1,438 | 364 | 1,074 | 66  | 58  | 8   | 1,372 | 306 | 1,066 | 0   |     | 156  |       |       |
| 3        | 2-2   | 0                             | 656 | 196 | 101 | 95  | 292 |                 | 0.006              | 0.14               |        | 1,398 | 354 | 1,044 | 88  | 80  | 8   | 1,310 | 274 | 1,036 | 0   |     | 129  | 12.0  |       |
| 4        | 6-2   |                               |     | 192 | 101 | 91  | 292 |                 |                    |                    |        | 1,434 | 478 | 956   | 58  | 40  | 18  | 1,376 | 438 | 938   | 0   |     | 170  | 23.2  |       |
| 5        | 9-2   | 0                             | 656 |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     | 160  | 18.4  |       |
| 6        | 13-2  |                               |     | 184 | 110 | 74  |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     |      |       |       |
| 7        | 16-2  | 0                             | 684 |     |     |     | 284 |                 |                    |                    |        | 1,492 | 544 | 948   | 72  | 58  | 14  | 1,420 | 486 | 934   | 0   | 164 | 95   | 15.6  |       |
| 8        | 20-2  | 0                             | 692 | 178 | 110 | 68  | 280 |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     | 105  |       |       |
| 9        | 23-2  | 0                             | 700 |     |     |     |     |                 |                    |                    |        | 1,400 | 604 | 796   | 124 | 106 | 18  | 1,276 | 498 | 778   | 0   | 198 | 95   | 18.0  |       |
| 10       | 27-2  | 0                             | 708 | 180 | 112 | 68  |     | 10              |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     | 113  | 17.2  | 1,800 |
| 11       | 2-3   | 0                             | 712 | 192 | 110 | 82  | 296 |                 | 0.015              | 0.18               |        | 1,530 | 588 | 942   | 178 | 170 | 8   | 1,352 | 418 | 934   | 0   |     | 99   |       |       |
| 12       | 6-3   |                               |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     |      |       |       |
| 13       | 9-3   | 12                            | 720 | 192 | 114 | 78  | 288 |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     |      |       |       |
| 14       | 16-3  | 8                             | 732 | 188 | 114 | 74  | 292 |                 | 0.015              | 0.16               |        | 1,510 | 582 | 928   | 94  | 48  | 46  | 1,416 | 534 | 882   | 0   |     | 68   |       |       |
| 15       | 20-3  | 4                             | 732 | 184 | 114 | 70  | 296 |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     | 62   |       |       |
| 16       | 30-3  | 16                            | 744 | 188 | 114 | 74  | 300 |                 |                    |                    |        | 1,424 | 406 | 101   | 124 | 84  | 40  | 1,300 | 322 | 978   | 0.2 | 200 | 95   |       |       |
| 17       | 6-4   | 8                             | 744 | 192 | 114 | 78  | 296 | 10              | 0.013              | 0.16               |        | 1,520 | 386 | 134   | 98  | 74  | 24  | 1,422 | 312 | 1,100 | 0.1 |     | 48   | 1,400 |       |
| 18       | 13-4  | 16                            | 748 | 172 | 114 | 58  | 296 | 10              |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     | 68   | 20.0  |       |
| 19       | 20-4  | 12                            | 744 | 196 | 114 | 82  | 296 | 10              |                    |                    |        | 1,504 | 508 | 996   | 138 | 122 | 16  | 1,366 | 386 | 980   | 0   |     | 34   | 1,800 |       |
| 20       | 27-4  | 12                            | 748 | 196 | 110 | 86  | 296 |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     |      |       |       |
| 21       | 4-5   | 12                            | 752 | 200 | 106 | 94  | 316 |                 | 0.016              | 0.14               |        | 1,590 | 548 | 1,042 | 96  | 86  | 10  | 1,494 | 462 | 1,032 | 0.1 | 217 | 55   | 18.0  |       |
| 22       | 11-5  | 124                           | 756 | 212 | 123 | 89  | 316 | 11              | 0.013              | 0.14               |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     | 34   | 22.4  |       |
| 23       | 18-5  | 24                            | 796 | 212 | 123 | 89  | 320 |                 | 0.015              | 0.15               |        | 1,572 | 484 | 1,088 | 92  | 66  | 26  | 1,480 | 418 | 1,067 | 0   |     | 28   | 19.4  |       |
| 24       | 2-6   | 60                            | 796 | 212 | 132 | 80  | 324 |                 | 0.013              | 0.14               |        | 1,784 | 652 | 1,132 | 66  | 56  | 10  | 1,718 | 596 | 1,122 | 1.5 | 219 | 55   |       |       |
| 25       | 8-6   | 48                            | 796 | 212 | 128 | 84  | 332 |                 | 0.015              | 0.16               |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     | 116  |       |       |
| 26       | 15-6  | 60                            | 796 | 216 | 132 | 84  | 332 |                 | 0.015              | 0.15               |        | 1,614 | 400 | 1,214 | 90  | 74  | 16  | 1,524 | 326 | 1,198 | 0   | 180 | 55   | 18.0  |       |
| 27       | 22-6  | 40                            | 792 | 216 | 132 | 84  | 330 |                 | 0.015              | 0.16               |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     | 44   |       |       |
| 28       | 29-6  | 8                             | 808 | 216 | 128 | 88  | 330 |                 | 0.015              | 0.14               |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       | 0   |     | 34   | 17.2  |       |
| 29       | 6-7   | 40                            | 808 | 216 | 132 | 84  | 336 | 16              | 0.013              | 0.16               |        | 1,642 | 470 | 1,172 | 54  | 38  | 16  | 1,588 | 432 | 1,156 | 0   | 184 | 34   | 17.2  |       |
| 30       | 13-7  | 36                            | 808 | 216 | 132 | 84  | 334 |                 | 0.018              |                    |        | 1,412 | 478 | 934   | 102 | 86  | 16  | 1,310 | 392 | 918   | 0   | 196 | 13   | 14.0  |       |
| 31       | 20-7  | 36                            | 808 | 216 | 128 | 88  | 336 | 12              |                    |                    |        | 1,622 | 378 | 1,244 | 86  | 78  | 8   | 1,536 | 300 | 1,236 | 0   | 219 | 51   | 26.4  | 2,100 |
| 32       | 27-7  | 80                            | 808 | 216 | 125 | 91  | 336 | 12              |                    |                    |        | 1,616 | 318 | 1,298 | 22  | 16  | 6   | 1,594 | 302 | 1,292 | 0   | 198 | 14   | 22.0  |       |
| 33       | 3-8   | 6                             | 812 | 216 | 128 | 88  | 336 |                 |                    |                    |        | 1,756 | 420 | 336   | 114 | 98  | 16  | 1,642 | 322 | 1,320 |     | 243 | 13   | 22.4  | 2,000 |
| 34       | 10-8  | 108                           | 812 | 220 | 128 | 92  | 344 | 12              |                    | 3.4                |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     | 238 | 17.8 |       |       |
| 35       | 17-8  | 108                           | 800 | 216 | 121 | 95  | 348 |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     | 102 | 18.2 | 2,100 |       |
| 36       | 24-8  | 48                            | 820 | 220 | 125 | 95  | 348 |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     |     |      |       |       |
| 37       | 31-8  | 80                            | 808 | 220 | 128 | 92  | 348 |                 |                    | 2.2                |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     |     |      |       |       |
|          |       |                               |     |     |     |     |     |                 |                    | 2.8                |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     |     | 34   |       |       |
|          |       |                               |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     |     | 54   |       |       |

TABLA 7  
RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA LA MUESTRA 2

| Muestreo |       | DETERMINACIONES |       |     |       |     |     |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     |      |       |
|----------|-------|-----------------|-------|-----|-------|-----|-----|-----------------|-------|-----------------|-----|-----------------|--------|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-------|------|-------|-----|-----|-----|------|-------|
| Nº       | Fecha | AF              | AM    | DT  | DCa   | DMg | Cl  | SO <sub>4</sub> | N     | NO <sub>2</sub> | N   | NO <sub>3</sub> | N. org | ST    | STV | STP   | SS  | SSV | SSF | SD    | SDV  | SDF   | SI  | DQO | DBO | ABS  | CE    |
| 2        | 30-1  | 0               | 648   | 192 | 103   | 89  | 292 |                 | 0.006 | 0.15            |     |                 |        | 1,438 | 364 | 1,074 | 66  | 58  | 8   | 1,372 | 306  | 1,066 | 0   |     |     | 156  |       |
| 3        | 2-2   | 0               | 656   | 196 | 103   | 93  | 292 |                 | 0.006 | 0.14            |     |                 |        | 1,388 | 492 | 896   | 102 | 98  | 4   | 1,286 | 394  | 892   | 0   |     |     | 144  | 13.8  |
| 4        | 6-2   |                 |       | 194 | 101   | 93  | 284 |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     | 144 | 24.8 |       |
| 5        | 9-2   | 0               | 644   |     |       |     |     |                 |       |                 |     |                 |        | 1,490 | 548 | 942   | 60  | 52  | 8   | 1,430 | 496  | 934   | 0   |     |     | 160  | 18.4  |
| 6        | 13-2  |                 |       | 180 | 110   | 70  |     |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     | 85   | 14.2  |
| 7        | 16-2  | 0               | 684   |     |       |     | 284 |                 |       |                 |     |                 |        | 1,432 | 616 | 816   | 70  | 56  | 14  | 1,362 | 560  | 812   | 0   |     |     | 83   |       |
| 8        | 20-2  | 0               | 692   | 178 | 106   | 72  | 280 |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     | 89  | 18.2 |       |
| 9        | 23-2  | 0               | 704   |     |       |     |     |                 |       |                 |     |                 |        | 1,416 | 516 | 900   | 172 | 138 | 34  | 1,244 | 378  | 866   | 0   | 192 |     | 83   |       |
| 10       | 27-2  | 0               | 708   | 180 | 112   | 68  |     |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     | 95  | 13.6 |       |
| 0.005    | 0.18  |                 | 1,494 | 482 | 1,012 | 118 | 104 | 14              | 1.376 | 378             | 998 | 0               |        |       |     | 95    |     |     |     | 11    | 2-3  | 0     | 708 | 192 | 110 | 82   | 296   |
|          |       |                 |       |     |       |     |     |                 |       |                 |     |                 |        |       |     | 68    |     |     |     | 12    | 6-3  |       |     |     |     |      |       |
| 0.015    | 0.15  |                 | 1,430 | 516 | 914   | 94  | 48  | 46              | 1,416 | 534             | 882 | 0               |        |       | 198 |       | 3.6 |     |     | 13    | 9-3  | 8     | 720 | 192 | 114 | 78   | 288   |
|          |       |                 |       |     |       |     |     |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     | 14    | 16-3 | 8     | 728 | 188 | 110 | 78   | 288   |
|          |       |                 |       |     |       |     |     |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     | 15    | 20-3 | 4     | 732 | 184 | 123 | 61   | 296   |
| 16       | 30-3  | 14              | 744   | 114 | 184   | 70  | 300 |                 |       |                 |     |                 |        | 1,420 | 388 | 1,032 | 72  | 60  | 12  | 1,348 | 328  | 1,020 | 0   |     |     | 48   |       |
| 17       | 6-4   | 10              | 746   | 176 | 114   | 62  | 296 | 1.0             | 0.015 | 0.15            |     |                 |        | 1,482 | 452 | 1,030 | 36  | 28  | 8   | 1,446 | 424  | 1,022 | 0   |     |     | 69   | 1,600 |
| 18       | 13-4  | 8               | 746   | 184 | 101   | 83  | 296 | 10              |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     | 48   | 18.0  |
| 19       | 20-4  | 12              | 744   | 196 | 114   | 82  | 296 | 10              |       |                 |     |                 |        | 1,506 | 462 | 1,044 | 78  | 60  | 18  | 1,428 | 402  | 1,026 | 0   |     |     | 54   | 1,800 |
| 20       | 27-4  | 16              | 744   | 188 | 114   | 74  | 298 |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     | 218 |     | 42   |       |
| 21       | 4-5   | 16              | 756   | 208 | 119   | 89  | 316 |                 | 0.015 | 0.14            |     |                 |        | 1,578 | 502 | 1,076 | 54  | 40  | 14  | 1,524 | 462  | 1,062 | 0   |     |     | 14   | 15.6  |
| 22       | 11-5  | 104             | 768   | 212 | 123   | 89  | 320 |                 | 0.015 | 0.14            |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     | 14   | 19.4  |
| 23       | 18-5  | 52              | 788   | 212 | 119   | 93  | 320 |                 | 0.015 | 0.15            |     |                 |        | 1,568 | 476 | 1,092 | 90  | 62  | 28  | 1,478 | 414  | 1,064 | 0   | 219 |     | 65   |       |
| 24       | 2-6   | 80              | 788   | 212 | 132   | 80  | 328 |                 | 0.013 | 0.14            |     |                 |        | 1,622 | 478 | 1,144 | 42  | 32  | 10  | 1,580 | 446  | 1,134 | 0   |     |     | 55   |       |
| 25       | 8-6   | 64              | 796   | 212 | 132   | 80  | 332 |                 | 0.013 | 0.16            |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     | 183 |     | 35   | 19.6  |
| 26       | 15-6  | 64              | 796   | 216 | 132   | 84  | 332 |                 | 0.015 | 0.15            |     |                 |        | 1,550 | 360 | 1,190 | 36  | 30  | 6   | 1,514 | 330  | 1,184 | 0   |     |     | 54   |       |
| 27       | 22-6  | 48              | 792   | 216 | 132   | 84  | 330 |                 | 0.015 | 0.16            |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     | 34   | 17.2  |
| 28       | 29-6  | 48              | 808   | 216 | 128   | 88  | 330 |                 | 0.015 | 0.14            |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     | 200 |     | 13   |       |
| 29       | 6-7   | 76              | 808   | 216 | 132   | 84  | 336 |                 | 0.015 | 0.16            |     |                 |        | 1,618 | 474 | 1,144 | 28  | 22  | 6   | 2,590 | 452  | 1,138 | 0   | 218 |     | 31   |       |
| 30       | 13-7  | 52              | 808   | 216 | 132   | 84  | 336 |                 | 0.018 |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     | 14   |       |
| 31       | 20-7  | 48              | 808   |     |       |     | 336 | 12              |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     | 13   | 2,200 |
| 32       | 27-7  | 72              | 804   | 218 | 125   | 93  |     | 12              |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     |      | 2,200 |
| 33       | 3-8   |                 |       |     |       |     |     |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     |      |       |
| 34       | 10-8  |                 |       |     |       |     |     |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     |      |       |
| 35       | 11-8  |                 |       |     |       |     |     |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     |      |       |
| 36       | 24-8  |                 |       |     |       |     |     |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     |      |       |
| 37       | 31-8  |                 |       |     |       |     |     |                 |       |                 |     |                 |        |       |     |       |     |     |     |       |      |       |     |     |     |      |       |

TABLA 8  
RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA LA MUESTRA 3

| Muestreo |       | DETERMINACIONES |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     |     |       |  |
|----------|-------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|--------------------|--------------------|--------|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-------|----|-----|-----|-----|-------|--|
| Nº       | Fecha | AF              | AM  | DT  | DCa | DMg | Cl  | SO <sub>4</sub> | N, NO <sub>2</sub> | N, NO <sub>3</sub> | N, org | ST    | STV | STP   | SS  | SSV | SSF | SD    | SDV | SDF   | SI | DQO | DBO | ABS | CE    |  |
| 1        | 18-1  |                 |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     |     |       |  |
| 2        | 30-1  | 0               | 648 | 192 | 103 | 89  | 292 |                 | 0.006              | 0.15               |        | 1,438 | 364 | 1,074 | 66  | 58  | 8   | 1,372 | 306 | 1,066 | 0  |     |     |     |       |  |
| 3        | 2-2   | 0               | 652 | 200 | 106 | 94  | 292 |                 | 0.006              | 0.14               |        | 1,400 | 388 | 1,012 | 88  | 80  | 8   | 1,310 | 274 | 1,036 | 0  |     |     | 156 |       |  |
| 4        | 6-2   |                 |     | 196 | 106 | 90  | 280 |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 129 | 12.0  |  |
| 5        | 9-2   | 0               | 632 |     |     |     |     |                 |                    |                    |        | 1,476 | 566 | 910   | 68  | 60  | 8   | 1,408 | 505 | 902   | 0  |     |     | 164 | 24.0  |  |
|          |       |                 |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 181 | 23.2  |  |
| 6        | 13-2  |                 |     | 180 | 114 | 66  |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     |     |       |  |
| 7        | 16-2  | 0               | 688 |     |     |     | 284 |                 |                    |                    |        | 1,438 | 434 | 1,004 | 62  | 44  | 18  | 1,376 | 390 | 986   | 0  | 162 |     | 89  | 14.2  |  |
| 8        | 20-2  | 0               | 684 | 178 | 110 | 68  | 280 |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 93  |       |  |
| 9        | 23-2  | 0               | 704 |     |     |     |     |                 |                    |                    |        | 1,364 | 564 | 800   | 164 | 124 | 40  | 1,200 | 440 | 760   | 0  |     |     | 109 | 16.0  |  |
| 10       | 27-2  | 0               | 704 | 180 | 110 | 70  |     | 10              |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    | 183 |     | 89  |       |  |
|          |       |                 |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 146 | 15.6  |  |
| 11       | 2-3   | 0               | 712 | 192 | 110 | 82  | 296 |                 | 0.015              | 0.18               |        | 1,524 | 560 | 964   | 122 | 84  | 38  | 1,402 | 476 | 926   | 0  |     |     |     | 1,800 |  |
| 12       | 6-3   |                 |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 99  |       |  |
| 13       | 9-3   | 12              | 720 | 192 | 114 | 78  | 288 |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     |     |       |  |
| 14       | 16-3  | 6               | 728 | 188 | 110 | 78  | 288 |                 | 0.015              | 0.16               |        | 1,482 | 514 | 968   | 64  | 40  | 24  | 1,418 | 474 | 944   | 0  |     |     | 48  |       |  |
| 15       | 20-3  | 0               | 732 | 188 | 110 | 78  | 296 |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    | 190 |     | 83  |       |  |
|          |       |                 |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     |     |       |  |
| 16       | 30-3  | 14              | 744 | 184 | 118 | 66  | 300 |                 |                    |                    |        | 1,408 | 354 | 1,054 | 40  | 24  | 16  | 1,368 | 330 | 1,038 | 0  |     |     |     |       |  |
| 17       | 6-4   | 0               | 744 | 192 | 88  | 104 | 296 | 10              | 0.015              | 0.16               |        | 1,514 | 422 | 1,092 | 47  | 35  | 12  | 1,467 | 387 | 1,080 | 0  |     |     | 89  |       |  |
| 18       | 13-4  | 8               | 744 | 192 | 106 | 86  | 296 | 10              |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 75  | 1,300 |  |
| 19       | 20-4  | 8               | 744 | 192 | 112 | 80  | 296 | 10              |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 54  | 8.0   |  |
| 20       | 27-4  | 12              | 748 | 192 | 118 | 74  | 296 |                 |                    |                    |        | 1,494 | 442 | 982   | 84  | 74  | 10  | 1,340 | 368 | 972   | 0  |     |     | 62  | 2,000 |  |
|          |       |                 |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    | 218 |     | 54  |       |  |
| 21       | 4-5   | 20              | 756 | 204 | 114 | 90  | 320 |                 | 0.015              | 0.14               |        | 1,544 | 522 | 1,022 | 76  | 68  | 8   | 1,468 | 454 | 1,014 | 0  |     |     |     |       |  |
| 22       | 11-5  | 100             | 768 | 212 | 123 | 89  | 320 |                 | 0.015              | 0.14               |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 14  | 17.6  |  |
| 23       | 18-5  | 40              | 788 | 210 | 119 | 93  | 320 |                 | 0.015              | 0.14               |        | 1,562 | 468 | 1,094 | 90  | 68  | 22  | 1,472 | 400 | 1,072 | 0  | 212 |     | 14  | 22.8  |  |
| 24       | 2-6   | 80              | 788 | 212 | 128 | 84  | 324 |                 | 0.015              | 0.14               |        | 1,486 | 422 | 1,064 | 28  | 18  | 10  | 1,458 | 404 | 1,054 | 0  |     |     | 55  |       |  |
| 25       | 8-6   | 64              | 796 | 212 | 132 | 80  | 332 |                 | 0.015              | 0.14               |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 90  |       |  |
|          |       |                 |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    | 182 |     | 14  | 19.6  |  |
| 26       | 15-6  | 80              | 796 | 216 | 132 | 84  | 332 |                 | 0.015              | 0.15               |        | 1,634 | 520 | 1,114 | 50  | 40  | 10  | 1,584 | 480 | 1,104 | 0  |     |     | 44  |       |  |
| 27       | 22-6  | 48              | 788 | 216 | 132 | 84  | 330 |                 | 0.015              | 0.16               |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     |     |       |  |
| 28       | 29-6  | 44              | 808 | 216 | 128 | 88  | 332 |                 | 0.015              | 0.14               |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 34  | 17.9  |  |
| 29       | 6-7   | 92              | 808 | 216 | 132 | 84  | 336 |                 | 0.015              | 0.14               |        | 1,598 | 364 | 1,234 | 27  | 24  | 3   | 1,571 | 340 | 1,231 | 0  | 199 |     | 13  |       |  |
| 30       | 13-7  | 0               | 808 | 216 | 132 | 84  | 336 |                 | 0.018              |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    | 219 |     | 31  |       |  |
|          |       |                 |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 14  |       |  |
| 31       | 20-7  | 48              | 808 | 216 | 125 | 91  | 336 | 12              |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     |     |       |  |
| 32       | 27-7  | 64              | 808 | 218 | 125 | 93  |     | 12              |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     |     |       |  |
| 33       | 3-8   |                 |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 13  | 2,000 |  |
| 34       | 10-8  |                 |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     |     | 2,100 |  |
| 35       | 17-8  | 108             | 800 | 216 | 121 | 95  | 348 | 20              |                    | 2.8                |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     |     |       |  |
|          |       |                 |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     |     |       |  |
| 36       | 24-8  | 76              | 836 | 218 | 121 | 97  | 348 |                 |                    | 2.5                |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 14  |       |  |
| 37       | 31-8  | 88              | 812 | 218 | 128 | 90  | 344 |                 |                    | 3.3                |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 24  |       |  |
|          |       |                 |     |     |     |     |     |                 |                    |                    |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |    |     |     | 34  |       |  |

TABLA 9  
RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA LA MUESTRA 4

| Muestreo |       | DETERMINACIONES |     |     |     |     |     |                 |                |                 |                |                 |                    |       |       |       |     |     |     |       |       |       |     |     |     |      |       |  |
|----------|-------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|--------------------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-----|-----|-----|------|-------|--|
| N°       | Fecha | AF              | AM  | DT  | DCa | DMa | Cl  | SO <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | NO <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> | N <sub>2</sub> org | ST    | STV   | STF   | SS  | SSV | SSF | SD    | SDV   | SDF   | SI  | DQO | DBO | ABS  | CE    |  |
| 1        | 18-1  | 0               | 592 | 184 | 92  | 92  | 928 |                 | 0.015          | 0.32            |                |                 |                    | 1,378 | 442   | 936   | 92  | 82  | 10  | 1,286 | 360   | 926   | 2.5 |     | 116 |      |       |  |
| 2        | 30-1  | 0               | 640 | 178 | 101 | 77  | 312 |                 | 0.008          | 0.15            |                |                 |                    | 1,714 | 484   | 1,230 | 190 | 172 | 18  | 1,322 | 338   | 984   | 0.2 |     | 203 |      |       |  |
| 3        | 2-2   | 0               | 652 | 194 | 101 | 93  | 292 |                 | 0.006          | 0.15            |                |                 |                    | 1,512 | 510   | 1,002 | 54  |     |     |       |       | 0     |     |     | 129 | 13.2 |       |  |
| 4        | 6-2   | 0               | 644 | 192 | 101 | 91  | 320 |                 | 0.015          | 0.10            |                |                 |                    | 1,498 | 590   | 908   | 140 | 114 | 26  | 1,358 | 476   | 882   | 0.4 | 284 | 195 |      |       |  |
| 5        | 9-2   | 0               | 644 | 176 | 101 | 75  | 268 |                 | 0.015          | 0.10            |                |                 |                    | 1,488 | 396   | 1,092 | 56  | 48  | 8   | 1,432 | 348   | 1,084 | 0   | 254 | 201 | 26.0 |       |  |
| 6        | 15-2  | 0               | 632 | 172 | 106 | 66  | 290 |                 | 0.015          | 0.12            |                |                 |                    | 2,240 | 1,126 | 1,114 | 224 | 120 | 104 | 2,016 | 1,006 | 1,010 | 3.5 | 220 | 175 | 18.2 |       |  |
| 7        | 16-2  | 0               | 656 | 184 | 110 | 74  | 276 |                 | 0.015          | 0.10            |                |                 |                    | 1,464 | 512   | 952   | 62  | 48  | 14  | 1,402 | 464   | 938   | 0   | 246 | 115 | 17.3 |       |  |
| 8        | 20-2  | 0               | 620 | 180 | 110 | 70  | 240 |                 | 0.015          | 0.24            |                |                 |                    | 1,500 | 548   | 952   | 48  | 38  | 10  | 1,452 | 510   | 942   | 0   |     | 164 |      |       |  |
| 9        | 23-2  | 0               | 620 | 180 | 112 | 68  | 244 |                 | 0.015          | 0.16            |                |                 |                    | 1,488 | 606   | 882   | 144 | 98  | 46  | 1,344 | 508   | 836   | 0   | 215 | 164 |      |       |  |
| 10       | 27-2  | 0               | 640 | 184 | 110 | 74  | 248 |                 | 0.015          | 0.03            |                |                 |                    | 1,406 | 506   | 900   | 64  | 48  | 16  | 1,432 | 458   | 884   | 0.5 | 246 | 38  | 19.4 |       |  |
| 11       | 2-3   | 0               | 712 | 192 | 110 | 82  | 228 |                 | 0.015          | 0.18            |                |                 |                    | 1,448 | 604   | 844   | 132 | 80  | 52  | 1,316 | 524   | 792   | 0   | 260 | 205 | 17.6 |       |  |
| 12       | 6-3   |                 |     |     |     |     |     |                 |                |                 |                |                 |                    |       |       |       |     |     |     |       |       |       |     |     |     |      |       |  |
| 13       | 9-3   | 8               | 616 | 192 | 114 | 78  | 248 |                 | 0.015          | 0.22            |                |                 |                    | 1,358 | 380   | 978   | 116 | 80  | 36  | 1,242 | 300   | 942   | 0.2 | 252 | 187 |      |       |  |
| 14       | 16-3  | 0               | 632 | 184 | 110 | 74  | 228 |                 | 0.015          | 0.18            |                |                 |                    | 1,452 | 536   | 916   | 134 | 90  | 44  | 1,318 | 446   | 872   | 1.0 | 248 | 177 | 21.2 |       |  |
| 15       | 20-3  | 0               | 616 | 188 | 110 | 78  | 216 |                 | 0.013          | 0.16            |                |                 |                    |       |       |       |     |     |     |       |       |       |     | 242 |     | 5.0  |       |  |
| 16       | 30-3  | 0               | 612 | 184 | 118 | 66  | 300 |                 |                |                 |                |                 |                    | 1,408 | 354   | 1,054 | 188 | 158 | 30  | 1,048 | 286   | 762   | 0.9 | 247 | 226 | 13.0 |       |  |
| 17       | 6-4   | 0               | 592 | 180 | 106 | 74  | 220 | 64              | 0.015          | 0.14            |                |                 |                    | 1,438 | 496   | 942   | 92  | 76  | 16  | 1,346 | 420   | 926   | 0   | 267 | 157 | 14.6 | 1,600 |  |
| 18       | 13-4  | 0               | 560 | 172 | 106 | 66  | 216 |                 | 0.013          | 0.24            |                |                 |                    | 1,662 | 760   | 902   | 372 | 308 | 64  | 1,290 | 452   | 838   | 1.2 | 260 | 267 | 28.4 |       |  |
| 19       | 20-4  | 16              | 608 | 184 | 110 | 74  | 224 |                 | 0.015          | 0.14            |                |                 |                    | 1,576 | 546   | 1,040 | 188 | 164 | 24  | 1,388 | 372   | 1,016 | 2.5 | 252 | 231 | 24.8 |       |  |
| 20       | 27-4  | 0               | 608 | 184 | 110 | 74  | 240 |                 | 0.015          | 0.15            |                |                 |                    | 1,212 | 424   | 788   | 88  | 72  | 16  | 1,124 | 352   | 772   | 0.6 | 254 | 197 | 20.0 |       |  |
| 21       | 4-5   | 0               | 608 | 184 | 101 | 83  | 232 |                 | 0.015          | 0.12            |                |                 |                    | 1,254 | 398   | 856   | 94  | 54  | 40  | 1,160 | 344   | 816   | 0   | 252 | 54  | 22.8 |       |  |
| 22       | 11-4  | 0               | 616 | 184 | 110 | 74  | 232 |                 | 0.013          | 0.16            |                |                 |                    | 1,446 | 480   | 996   | 210 | 148 | 62  | 1,236 | 332   | 904   | 0.9 | 260 | 156 | 28.8 |       |  |
| 23       | 18-5  | 0               | 628 | 184 | 110 | 74  | 238 |                 | 0.015          | 0.17            |                |                 |                    | 1,382 | 456   | 926   | 104 | 74  | 30  | 1,278 | 382   | 896   | 0.1 | 255 | 157 | 23.7 |       |  |
| 24       | 2-6   | 0               | 516 | 180 | 101 | 79  | 196 |                 | 0.015          | 0.14            |                |                 |                    | 1,024 | 388   | 636   | 39  | 13  | 16  | 985   | 375   | 610   | 0.5 |     | 145 |      |       |  |
| 25       | 8-6   | 4               | 592 | 180 | 106 | 74  | 232 |                 | 0.013          | 0.16            |                |                 |                    | 1,322 | 332   | 990   | 44  | 28  | 16  | 1,278 | 304   | 974   | 0   | 227 | 96  | 26.4 |       |  |
| 26       | 15-6  | 0               | 620 | 176 | 97  | 79  | 264 |                 | 0.015          | 0.15            |                |                 |                    | 1,466 | 540   | 926   | 52  | 44  | 8   | 1,414 | 496   | 918   | 0   |     | 14  |      |       |  |
| 27       | 22-6  | 0               | 636 | 176 | 106 | 70  | 268 |                 | 0.015          | 0.16            |                |                 |                    | 1,552 | 500   | 1,052 | 60  | 46  | 14  |       |       |       | 0   | 245 | 55  | 12.7 |       |  |
| 28       | 29-6  | 4               | 636 | 176 | 101 | 75  | 216 |                 | 0.020          | 0.14            |                |                 |                    | 1,410 | 450   | 960   | 72  | 52  | 20  |       |       |       | 0   | 257 | 54  |      |       |  |
| 29       | 6-7   | 0               | 636 | 176 | 101 | 75  | 216 |                 | 0.015          | 0.12            |                |                 |                    | 1,366 | 504   | 862   | 46  | 42  | 4   |       |       |       | 0   | 254 | 133 | 15.5 |       |  |
| 30       | 13-7  | 0               | 640 | 176 | 101 | 75  | 244 |                 |                |                 |                |                 |                    |       |       |       |     |     |     |       |       |       |     | 254 | 54  | 8.2  |       |  |
| 31       | 20-7  | 0               | 644 | 180 | 106 | 74  | 324 | 112             |                |                 |                |                 |                    | 1,646 | 460   | 1,186 | 56  | 42  | 14  | 1,590 | 418   | 1,172 | 0   | 242 | 85  | 18.8 | 2,100 |  |
| 32       | 27-7  | 0               | 636 | 180 | 101 | 79  | 296 | 92              |                |                 |                |                 |                    | 1,514 | 400   | 1,114 | 46  | 32  | 14  | 1,468 | 368   | 1,100 |     | 252 | 12  | 13.7 | 2,000 |  |
| 33       | 3-8   | 0               | 588 | 180 | 106 | 74  | 248 |                 |                |                 |                |                 |                    |       |       |       | 92  | 72  | 20  | 1,300 | 332   | 968   |     |     | 75  | 18.5 |       |  |
| 34       | 10-8  | 0               | 480 | 184 | 106 | 78  | 224 | 92              |                |                 | 5.0            |                 |                    | 1,392 | 404   | 988   |     |     |     |       |       |       |     |     | 130 | 12.4 | 1,600 |  |
| 35       | 17-8  | 0               | 440 | 180 | 101 | 79  | 240 |                 |                |                 | 7.3            |                 |                    |       |       |       |     |     |     |       |       |       |     |     | 48  |      |       |  |
| 36       | 24-8  |                 |     |     |     |     |     |                 |                |                 |                |                 |                    |       |       |       |     |     |     |       |       |       |     |     |     |      |       |  |
| 37       | 31-8  | 12              | 632 | 184 | 108 | 76  | 236 |                 |                |                 | 6.7            |                 |                    |       |       |       |     |     |     |       |       |       |     |     |     |      |       |  |

TABLA 10  
RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA LA MUESTRA 5

| Muestreo |       | D E T E R M I N A C I O N E S |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     |     |     |      |    |  |
|----------|-------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-------|-----|-----|-----|------|----|--|
| Nº       | Fecha | AF                            | AM  | DT  | DCa | DMg | Cl- | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> | N. NO <sub>2</sub> <sup>=</sup> | N. NO <sub>3</sub> <sup>=</sup> | N. org | ST    | STV | STF   | SS  | SSV | SSF | SD    | SDV | SDF   | SI  | DQO | DBO | ABS  | CE |  |
| 1        | 18-1  |                               |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     |     |     |      |    |  |
| 2        | 30-1  | 0                             | 648 | 188 | 101 | 87  | 296 |                              | 0.006                           | 0.15                            |        | 1,476 | 492 | 984   | 78  | 68  | 10  | 1,398 | 424 | 974   | 0   |     |     |      |    |  |
| 3        | 2-2   | 0                             | 652 | 200 |     |     | 288 |                              | 0.006                           | 0.14                            |        | 1,476 | 538 | 938   | 118 |     |     |       |     |       | 0.3 |     | 135 | 9.8  |    |  |
| 4        | 6-2   | 0                             | 648 | 194 | 101 | 93  | 320 |                              | 0.015                           | 0.10                            |        | 1,500 | 646 | 854   | 82  | 64  | 18  | 1,418 | 582 | 836   | 0   | 224 | 211 |      |    |  |
| 5        | 9-2   | 0                             | 648 | 176 | 99  | 77  | 268 |                              | 0.015                           | 0.10                            |        | 1,552 | 528 | 1,024 | 162 | 132 | 30  | 1,390 | 396 | 994   | 1.1 | 200 | 205 | 24.4 |    |  |
| 6        | 13-2  | 12                            | 660 | 180 | 110 | 70  | 292 |                              | 0.015                           | 0.10                            |        | 1,654 | 538 | 1,116 | 92  | 48  | 44  | 1,562 | 490 | 1,072 | 0.1 | 212 | 195 | 17.0 |    |  |
| 7        | 16-2  | 12                            | 616 | 180 | 106 | 74  | 272 |                              | 0.015                           | 0.10                            |        | 1,472 | 458 | 1,014 | 70  | 52  | 18  | 1,402 | 406 | 996   | 0.1 | 238 | 134 | 15.8 |    |  |
| 8        | 20-2  | 0                             | 620 | 180 | 110 | 70  | 240 |                              | 0.015                           | 0.24                            |        | 1,500 | 548 | 952   | 48  | 38  | 10  | 1,452 | 510 | 942   | 0   |     | 164 |      |    |  |
| 9        | 23-2  | 0                             | 620 | 180 | 112 | 68  | 244 |                              | 0.015                           | 0.16                            |        | 1,488 | 606 | 882   | 144 | 98  | 46  | 1,344 | 508 | 836   | 0   | 215 | 164 |      |    |  |
| 10       | 27-2  | 0                             | 640 | 184 | 110 | 74  | 248 |                              | 0.015                           | 0.03                            |        | 1,406 | 506 | 900   | 64  | 48  | 16  | 1,432 | 458 | 884   | 0.5 | 246 | 38  | 19.4 |    |  |
| 11       | 2-3   | 0                             | 624 | 192 | 110 | 82  | 228 |                              | 0.015                           | 0.18                            |        | 1,412 | 656 | 756   | 136 | 84  | 52  | 1,276 | 572 | 704   | 0.9 | 254 | 197 | 16.4 |    |  |
| 12       | 6-3   |                               |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     |     |     |      |    |  |
| 13       | 8-3   | 8                             | 616 | 192 | 114 | 78  | 288 |                              | 0.015                           | 9.22                            |        | 1,412 | 334 | 1,078 | 128 | 66  | 62  | 1,284 | 268 | 1,016 | 0   | 232 | 185 |      |    |  |
| 14       | 16-3  | 0                             | 632 | 184 | 110 | 74  | 228 |                              | 0.015                           | 0.18                            |        | 1,452 | 536 | 916   | 134 | 90  | 44  | 1,318 | 446 | 872   | 1.0 | 248 | 177 | 21.2 |    |  |
| 15       | 20-3  | 0                             | 616 | 188 | 110 | 78  | 216 |                              | 0.013                           | 0.16                            |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     | 242 |     | 5.0  |    |  |
| 16       | 30-3  |                               |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     |     |     |      |    |  |
| 17       | 6-4   | 16                            | 588 | 180 | 97  | 83  | 216 |                              | 0.015                           | 0.14                            |        | 1,358 | 476 | 882   | 82  | 54  | 28  | 1,276 | 422 | 854   | 0.1 | 265 | 165 | 13.4 |    |  |
| 18       | 13-4  |                               |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |       |     |       |     |     |     |       |     |       |     |     |     |      |    |  |
| 19       | 20-4  | 0                             | 612 | 184 | 110 | 74  | 216 |                              | 0.015                           | 0.14                            |        | 1,510 | 482 | 1,028 | 102 | 90  | 12  | 1,408 | 392 | 1,016 | 0.2 | 248 | 211 | 24.4 |    |  |
| 20       | 27-4  | 0                             | 600 | 184 | 114 | 70  | 248 |                              | 0.015                           | 0.15                            |        | 1,474 | 596 | 878   | 174 | 144 | 30  | 1,300 | 452 | 848   | 2.0 | 252 | 238 | 23.2 |    |  |

TABLA 11  
RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA LA MUESTRA 6

| Muestreo |       | D E T E R M I N A C I O N E S |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |  |
|----------|-------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|--|
| Nº       | Fecha | AF                            | AM  | DT  | DCa | DMg | Cl- | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> | N, NO <sub>2</sub> <sup>=</sup> | N, NO <sub>3</sub> <sup>=</sup> | N. org | ST  | STV | STF | SS | SSV | SSF | SD  | SDV | SDF | SI | DQO | DBO | ABS | CE  |  |
| 21       | 4-5   | 12                            | 264 | 408 | 264 | 144 | 188 |                              | 0.010                           | 0.08                            |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |  |
| 22       | 11-5  | 0                             | 316 | 400 | 260 | 140 | 108 |                              | 0.010                           | 0.14                            | 634    | 186 | 448 | 24  | 24 | 14  | 10  | 610 | 172 | 438 | 60 | 25  |     |     | 0   |  |
| 23       | 18-5  |                               |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    | 22  |     |     | 3.1 |  |
| 24       | 2-6   |                               |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |  |
| 25       | 8-6   | 0                             | 318 | 400 | 264 | 136 | 112 |                              | 0.010                           | 0.12                            | 614    | 142 | 472 | 10  | 10 | 6   | 4   | 604 | 136 | 468 | 0  | 21  |     |     | 4.4 |  |
| 26       | 15-6  |                               |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |  |
| 27       | 22-6  | 0                             | 316 | 264 | 400 | 136 | 124 |                              | 0.010                           |                                 | 650    | 176 | 674 | 4   | 4  | 3   | 6   | 646 | 173 | 473 | 0  | 18  |     |     | 0   |  |
| 28       | 29-6  |                               |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |  |
| 29       | 6-7   | 0                             | 316 | 400 | 260 | 140 | 124 |                              | 0.012                           | 0.12                            | 664    | 128 | 536 | 6   | 6  | 4   | 2   | 658 | 124 | 534 | 0  | 52  | 31  | 4.8 | 700 |  |
| 30       | 13-7  | 0                             |     |     |     |     | 124 |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    | 22  |     |     |     |  |
| 31       | 20-7  | 0                             | 312 |     |     |     | 136 |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |  |
| 32       | 27-7  |                               |     |     |     |     | 124 |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |  |
| 33       | 3-8   |                               |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |     |     |     | 0   |  |
| 34       | 10-8  | 16                            | 324 |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |     |     |     | 0   |  |
| 35       | 17-8  | 52                            | 332 |     |     |     | 136 |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |     |     |     | 0   |  |
| 36       | 24-8  |                               |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |  |
| 37       | 31-8  |                               |     |     |     |     |     |                              |                                 |                                 |        |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |  |



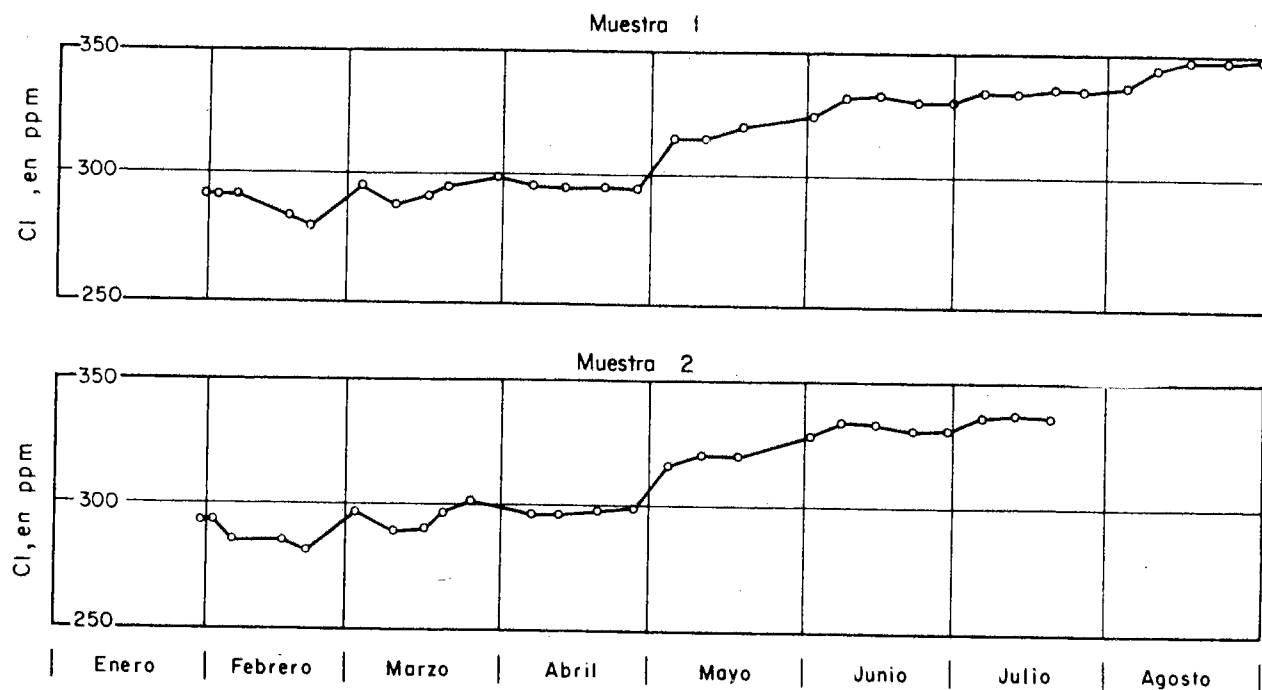


FIG. 10 Cloruros

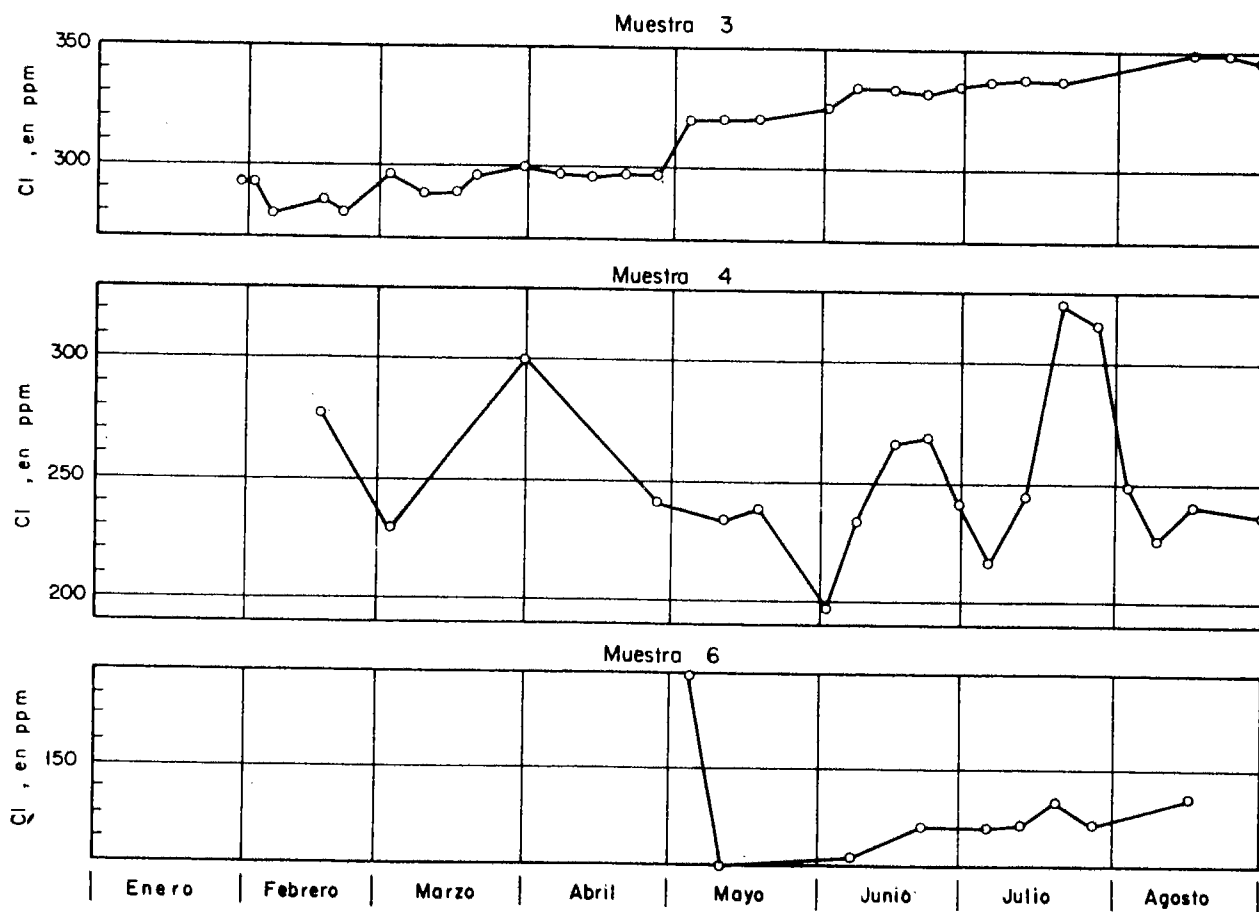


FIG. 11 Cloruros

o bicarbonato. Mientras que los valores de la dureza en el agua negra cruda (tablas 9, 10 y 11), son más o menos constantes, estos se incrementan con el almacenamiento. Cabe hacer la aclaración de que del agua que se repone al modelo, mucha se destina al equilibrio de la evaporación; es decir, existe una concentración bastante marcada, que debe considerarse en todas las variaciones (figs 8 y 9).

#### 6.4 Cloruros

El ion  $\text{Cl}^-$  es un índice de contaminación; en este caso las aguas negras crudas contienen un promedio de 250 ppm, pero debido a la concentración en el modelo, los valores en todas las muestras se incrementaron hasta llegar a contenidos de 350 ppm; es importante considerar este ion para el uso agrícola de las aguas negras almacenadas (figs 10 y 11).

#### 6.5 Nitrógeno

El contenido promedio en las aguas negras de nitritos,  $\text{NO}_2^-$ , es de 0.015 ppm y más o menos se mantuvo constante en las determinaciones que se hicieron a las muestras 1, 2 y 3.

El valor de los nitratos no se alteró por efecto del almacenamiento o concentración; por lo tanto, el promedio de 15 ppm en las aguas negras

crudas es el mismo que se obtuvo en las muestras del modelo.

Con respecto al nitrógeno orgánico, a partir de los datos que se tienen, se puede decir que su contenido promedio en las aguas negras crudas es 6.3 ppm, mientras que para las muestras 1 y 3 es 2.8 ppm.

#### 6.6 Sólidos

La determinación de sólidos totales es muy importante porque limitan en muchos casos el uso sucesivo del agua. En ellos se incluye el contenido de sodio, que para el riego agrícola es indispensable controlar (figs 12 y 13).

El valor promedio de sólidos totales en las aguas negras es de 1,500 ppm; en las muestras del modelo el incremento fue relativamente bajo y ocurrió en forma desordenada. Para los otros tipos de sólidos, puede valer el mismo razonamiento, agregando que los sedimentables son prácticamente nulos en el modelo, mientras que las aguas del tanque regulador tienen valores bajos, pero casi siempre registrables.

#### 6.7 Demanda química de oxígeno

Las muestras del modelo tienen resultados casi iguales en las determinaciones de la DQO. No se puede definir una ley de variación, pero sí se

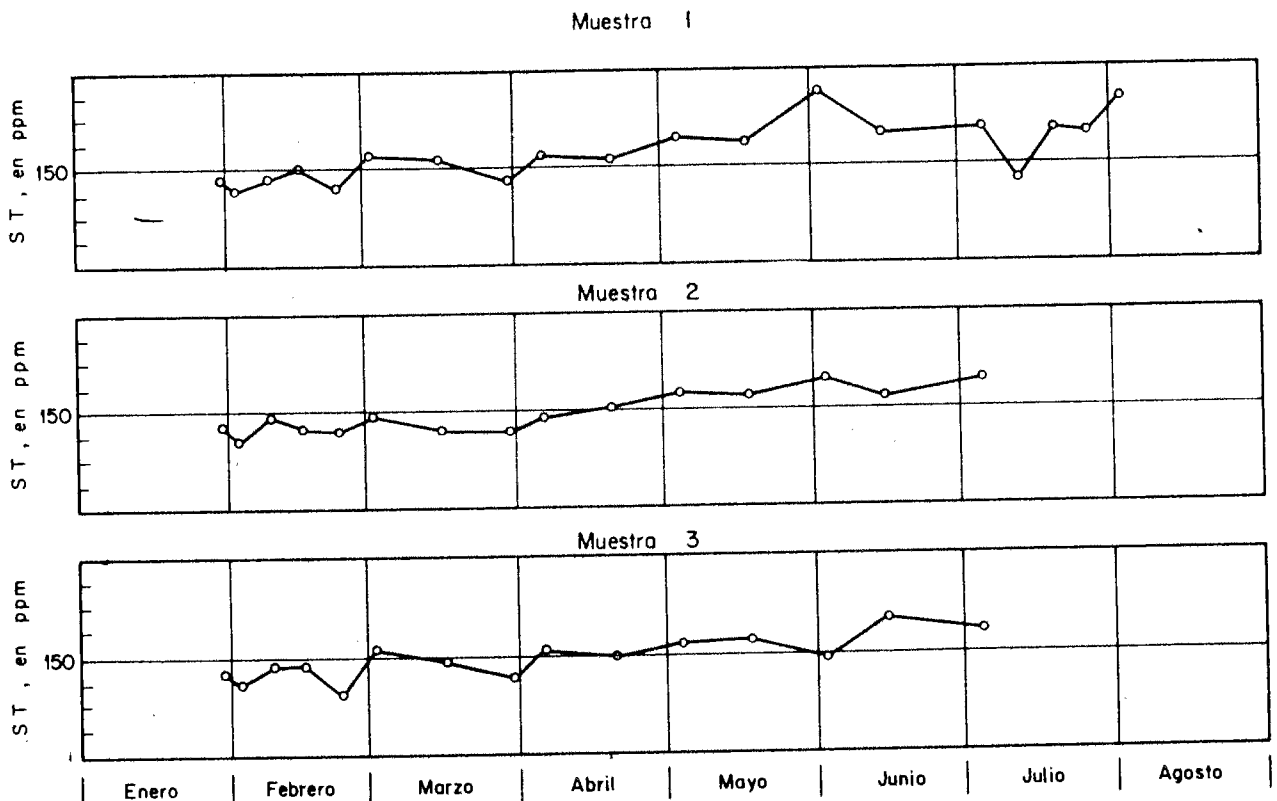


FIG. 12 Sólidos totales

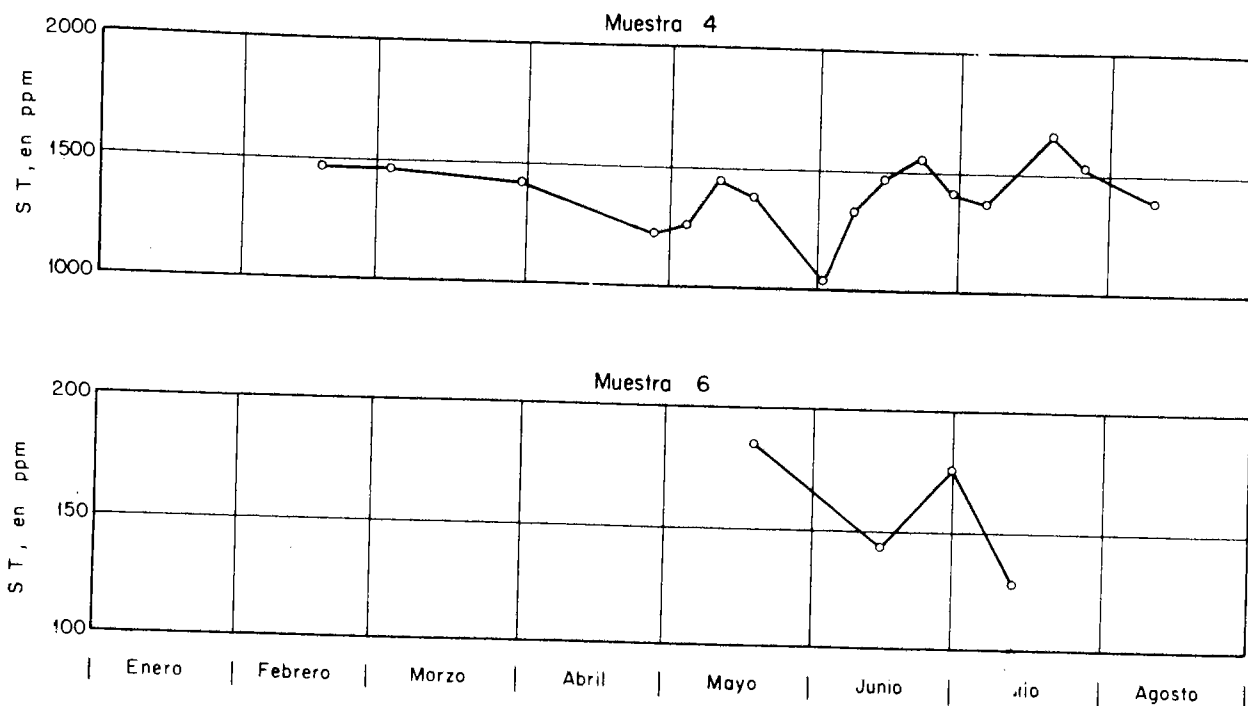


Fig. 13 Sólidos totales

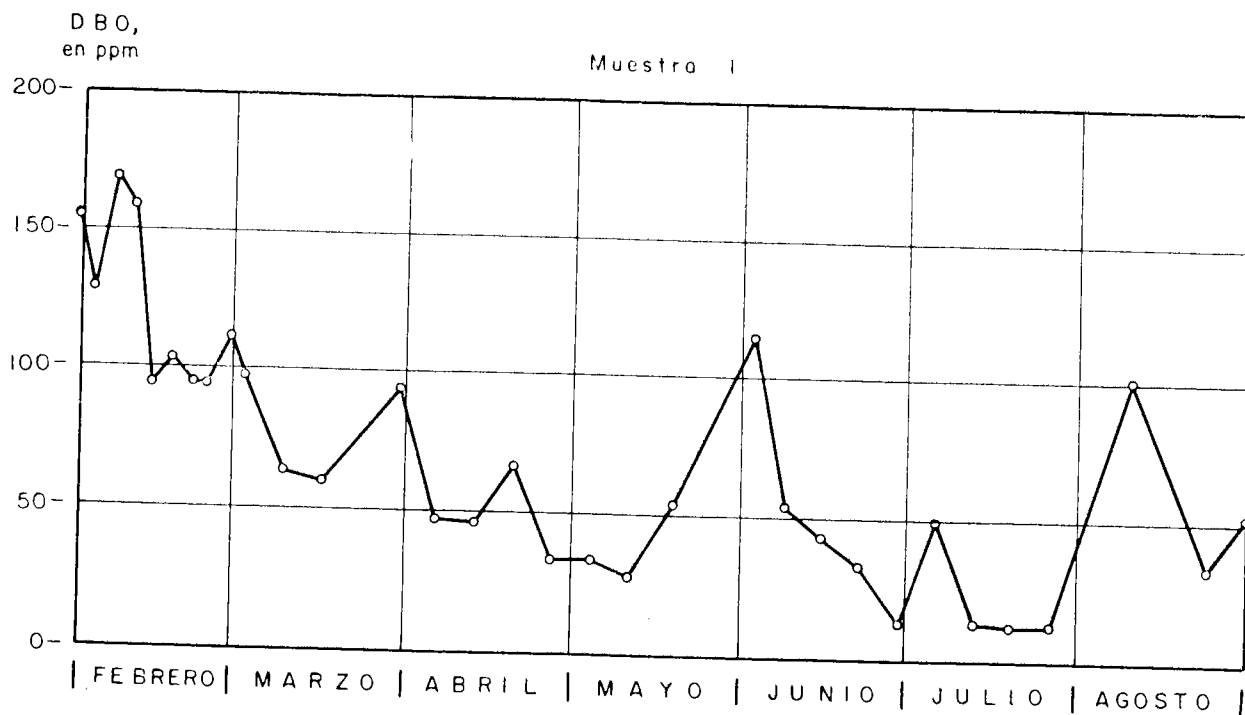


Fig. 14 Demanda bioquímica de oxígeno

Muestra 2

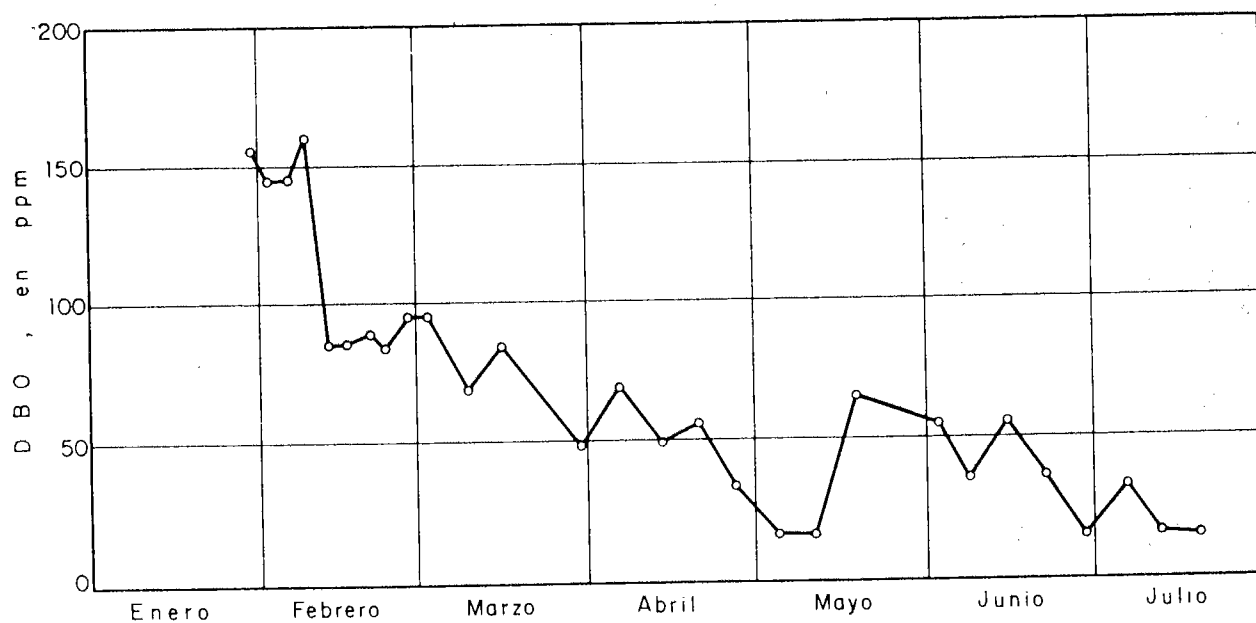


FIG. 15 Demanda bioquímica de oxígeno

Muestra 3

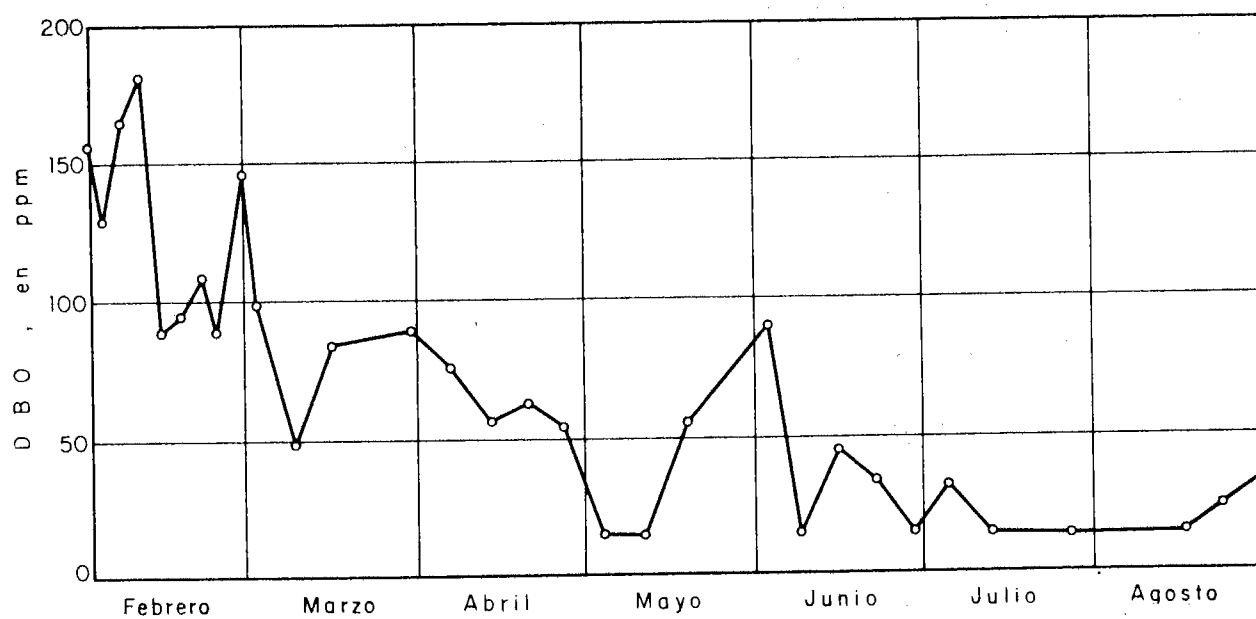


FIG. 16 Demanda bioquímica de oxígeno

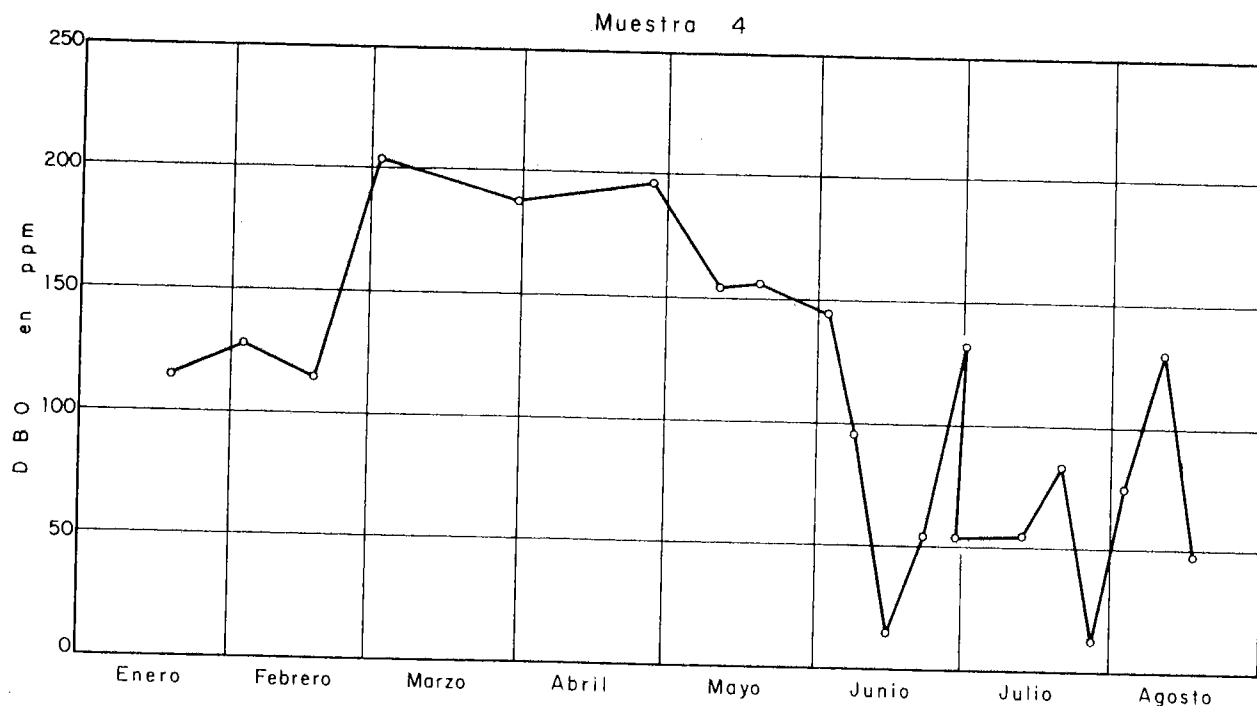


Fig. 17 Demanda bioquímica de oxígeno

TABLA 12

EFICIENCIA EN LA DISMINUCIÓN DE DBO  
CONSIDERANDO EL AGUA DE ALIMENTACIÓN  
Y LA MUESTRA 3 DEL MODELO

| Muestreo | Eficiencia en porcentaje | Muestreo | Eficiencia en porcentaje |
|----------|--------------------------|----------|--------------------------|
| 1        |                          |          |                          |
| 2        | 23                       |          |                          |
| 3        | 0                        | 20       | 73                       |
| 4        | 18                       | 21       | 73                       |
| 5        | 10                       | 22       | 91                       |
| 6        | 49                       | 23       | 71                       |
| 7        | 19                       | 24       | 38                       |
| 8        | 33                       | 25       | 85                       |
| 9        | 45                       | 26       | *                        |
| 10       | *                        | 27       | 38                       |
| 11       | 52                       | 28       | 76                       |
| 12       |                          | 29       | 76                       |
| 13       | 75                       | 30       | 74                       |
| 14       | 53                       | 31       |                          |
| 15       |                          | 32       | *                        |
| 16       | 61                       | 33       |                          |
| 17       | 52                       | 34       |                          |
| 18       | 42                       | 35       | 71                       |
| 19       | 73                       | 36       |                          |
|          |                          | 37       |                          |

\* Valor negativo

observa que los valores son menores en el modelo con respecto a las aguas negras crudas.

### 6.8 Demanda bioquímica de oxígeno

La DBO del agua en el tanque regulador varía de 11.5 a 267 mg/lit, con un promedio de 150 mg/lit. Desde los primeros muestreos se notó una disminución de esta en las aguas del modelo (figs 14, 15, 16 y 17).

En la tabla 12 se muestra una valuación de la eficiencia en la disminución de la DBO de las aguas negras crudas con respecto a la muestra 3.

### 6.9 Detergentes

Los contenidos de ABS no presentan ninguna muestra aparente de variación de acuerdo con sus valores, sin embargo, cabe aclarar que:

- El contenido es mayor en las aguas negras crudas que en las almacenadas, en aproximadamente un 20 por ciento
- En una misma muestra, el contenido variaba si se hacía la determinación inmediatamente o algunos días después, siendo menor mientras más tiempo transcurriera
- El contenido variaba en una misma muestra según se agitara más o menos, antes de tomar la cantidad analizada, es decir, a mayor agitación, menor valor
- En un análisis de espumas, el contenido fue mucho mayor que en la parte líquida de la muestra.

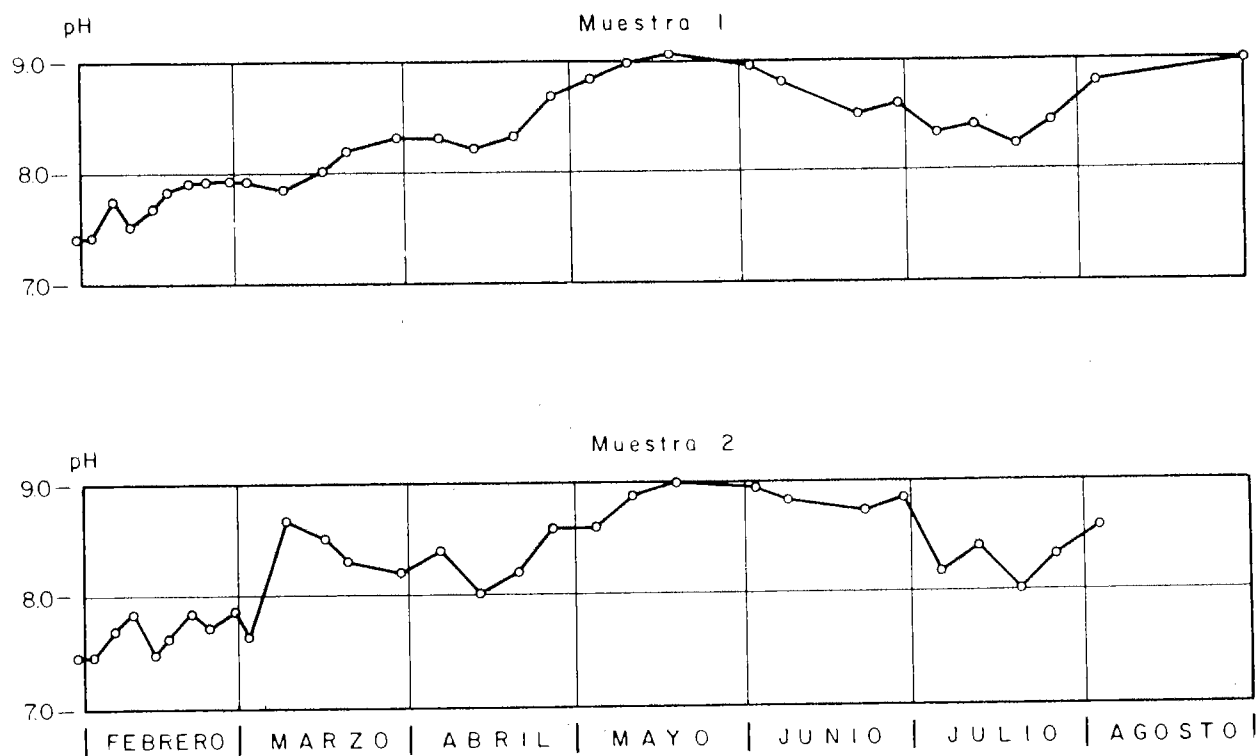


FIG. 18 Potencial hidrógeno

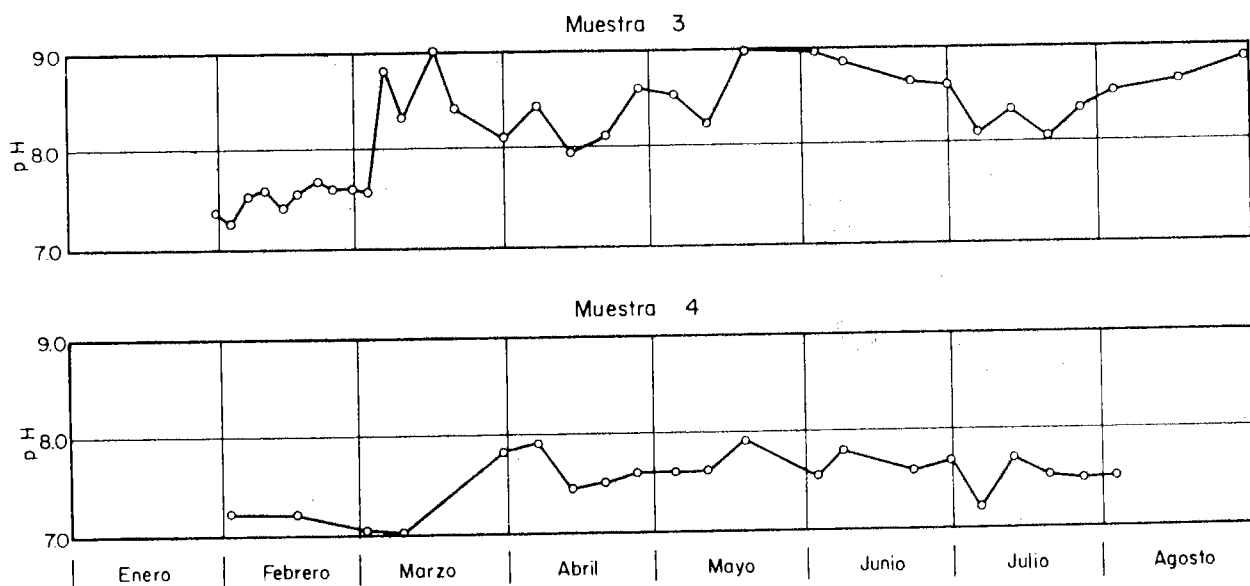


FIG. 19 Potencial hidrógeno

### 6.10 Potencial hidrógeno

El pH de las aguas negras es, en promedio, 7.5; el registrado en las muestras del modelo (figs 18 y 19), siempre fue mayor, hasta llegar en los últimos muestreos a más de 9.0.

### 6.11 Conductividad eléctrica

La CE fue medida en laboratorio; está expresada en micro-mhos/cm a 25°C y representa la salinidad general del agua.

Los valores de las aguas negras crudas oscilaron alrededor de 1,800 micro-mhos/cm y puede decirse que las aguas del modelo tuvieron ese promedio, aunque la tendencia observada en los últimos muestreos fue la de conservar los valores mayores, los cuales llegaron a 2,000 y 2,100 micro-mhos/cm.

Cabe aclarar que la conductividad eléctrica puede ser un medio de verificar los resultados de ciertos análisis de laboratorio como son la suma de aniones, o bien a partir de esta, hallar la conductividad eléctrica puesto que se relacionan perfectamente.

### 6.12 Bióxido de carbono

El CO<sub>2</sub> se determinó en función de la alcalinidad total y del pH de cada muestra. Se nota una tendencia a disminuir y es tan notable que, de 50 ppm promedio en las aguas negras, se llega a 1.0 ppm en los últimos muestreos del modelo.



*Determinación de bióxido de carbono en el campo*

La disminución del CO<sub>2</sub> y el aumento del pH en las muestras, indican que el proceso de autodepuración se llevó a cabo bajo condiciones aerobias.

Lo anterior se corrobora al haberse detectado oxígeno disuelto en la muestra 3 el día 13 de octubre, o sea a los nueve meses de almacenamiento, aunque probablemente ayudado por la dilución debida a lluvias.

## 7. ANALISIS BIOLOGICOS

### 7.1 Análisis bacteriológicos

Los análisis bacteriológicos se hicieron para observar el funcionamiento del modelo y ver la eficiencia en la depuración biológica de las aguas. Se tomaron muestras semanales de seis diferentes partes: tres del modelo, dos de aguas crudas y una de aguas negras filtradas en terreno natural.



*Recolección de la muestra de aguas negras filtradas*

Los análisis se iniciaron el día 23 de febrero de 1967 y se dieron por terminados para la elaboración de este informe, el día 16 de agosto del mismo año.

Se determinó el número más probable, NMP, mediante tubos con caldo lactosado. En algunas ocasiones se hicieron determinaciones utilizando el método de los filtros de membrana, empleando ENDO como medio de cultivo.



*Siembra para recuento bacteriológico, empleando membranas de filtro*

La primera determinación que se hizo fue con el objeto de observar entre qué cantidades oscilaba la cuenta; se emplearon filtros de membrana por medio de ENDO utilizando diversas diluciones que fueron desde 0.01 hasta 0.0003.

La segunda determinación se hizo por los dos métodos para observar si había alguna diferencia

TABLA 13

VALORES MEDIOS DE LA MUESTRA 4 Y MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LAS MUESTRAS 1, 2, 3 Y 4

| Determinación      | Valores medios muestra 4 | Valores Máximos y Mínimos Muestras |       |        |       |        |       |       |       |
|--------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                    |                          | 1                                  |       | 2      |       | 3      |       | 4     |       |
|                    |                          | Máx                                | Min   | Máx    | Min   | Máx    | Min   | Máx   | Min   |
| AF                 | 1.26                     | 124                                | 0     | 104    | 0     | 108    | 0     | 16    | 0     |
| AM                 | 612.7                    | 820                                | 642   | 808    | 644   | 836    | 632   | 712   | 440   |
| DT                 | 179.8                    | 220                                | 172   | 808    | 114   | 218    | 178   | 194   | 106   |
| DCa                | 107.7                    | 132                                | 101   | 184    | 101   | 132    | 88    | 176   | 92    |
| DMg                | 76.1                     | 95                                 | 58    | 93     | 61    | 104    | 66    | 93    | 66    |
| Cl-                | 250.5                    | 348                                | 280   | 336    | 280   | 348    | 280   | 324   | 96    |
| N. NO <sub>2</sub> | 14.3                     | 0.0175                             | 0.006 | 0.0175 | 0.006 | 0.0175 | 0.006 | 0.02  | 0.006 |
| N. NO <sub>3</sub> | 0.16                     | 0.18                               | 0.14  | 0.18   | 0.14  | 0.18   | 0.14  | 0.32  | 0.03  |
| N. Org             | 6.33                     | 34                                 | 22    |        |       | 3.3    | 2.5   | 7.3   | 5.8   |
| ST                 | 1,367.2                  | 1,784                              | 1,398 | 1,672  | 1,388 | 1,634  | 1,364 | 1,714 | 1,024 |
| STV                | 804.1                    | 652                                | 313   | 616    | 360   | 566    | 354   | 1,126 | 332   |
| STF                | 963.1                    | 1,336                              | 796   | 1,190  | 816   | 1,234  | 800   | 1,230 | 788   |
| SS                 | 109.7                    | 78                                 | 22    | 172    | 28    | 164    | 22    | 872   | 39    |
| SSV                | 83.4                     | 70                                 | 16    | 138    | 22    | 124    | 18    | 308   | 13    |
| SSF                | 27.3                     | 46                                 | 6     | 46     | 4     | 40     | 3     | 104   | 4     |
| SD                 | 339.4                    | 1,718                              | 1,276 | 1,590  | 1,244 | 1,584  | 1,200 | 2,016 | 985   |
| SDV                | 422.0                    | 596                                | 274   | 560    | 306   | 506    | 274   | 1,006 | 286   |
| SDF                | 914.0                    | 1,320                              | 778   | 1,184  | 812   | 1,001  | 760   | 1,172 | 610   |
| SI                 | 0.53                     | 1.5                                | 0     | 0      | 0     | 0.5    | 0     | 3.5   | 0     |
| DQO                | 249.8                    | 286                                | 164   | 219    | 183   | 219    | 162   | 284   | 215   |
| ABS                | 18.3                     | 26.4                               | 12.0  | 24.8   | 3.6   | 24.0   | 12    | 28.8  | 5.0   |
| DBO                | 13.1                     | 238                                | 13    | 156    | 13    | 181    | 13    | 2.7   | 1.0   |
| pH                 | 7.44                     | 9.1                                | 7.4   | 4.5    | 7.4   | 9.0    | 7.25  | 7.9   | 7.0   |
| CO <sub>2</sub>    | 41.0                     | 42                                 | 0.9   | 41     | 1.3   | 58     | 1.1   | 108   | 9.4   |
| Ca                 | 42.1                     | 53                                 | 40    | 53     | 40    | 53     | 3.5   | 47    | 37    |
| Mg                 | 18.4                     | 23                                 | 14    | 23     | 15    | 25     | 16    | 23    | 14    |
| Na                 |                          |                                    |       |        |       |        |       |       |       |

al utilizarlos, pero los resultados fueron sensiblemente los mismos. A fin de cotejar la precisión del equipo de campo para la determinación del NMP de *escherichia coli*, se hicieron pruebas comparativas, donde los resultados concordaron en casi su totalidad. Así pudo comprobarse que cualquiera de los tres métodos era aceptable y confiable en sus resultados.

En general se utilizó el método de tubos con caldo lactosado, diluyendo la muestra convenientemente para tener por lo menos tres diferentes oportunidades de lectura.

Para verificar la exactitud de la determinación del NMP *escherichia coli* mediante la siembra en tubos con caldo lactosado, se decidió hacer otras pruebas que indicaran si los datos obtenidos con ese índice eran suficientemente seguros.

Se realizó la prueba de la determinación del número más probable de microorganismos del grupo de los *enterococos*; *streptococcus faecalis*, por ser, a más de otro de los índices de contaminación sancionados por las autoridades competentes, un microorganismo sumamente resistente a las condiciones adversas y a los agentes lesivos para la mayor parte de las bacterias; aun cuando se presenta en número menor que la *escherichia coli*, puede soportar la presencia de sustancias depresoras de la tensión superficial, mayores presiones osmóticas, aparte de otras características que lo hacen un índice confiable, tanto, que en algunos países de Europa pretenden incluirlo dentro de

las pruebas de potabilidad del agua junto con la de *escherichia coli*; se utilizó para esta determinación el medio con nitrato. Se aceptó hacer también a título informativo, la determinación de la presencia de microorganismos patógenos del tipo *salmonella* y *shigella*, para ver si efectivamente la desaparición de *escherichia coli* y *streptococcus faecalis* implicaba la de los patógenos, o bien saber si estos persisten una vez que aquellos ya han desaparecido.

Aparte de las pruebas mencionadas, se determinó en ocasiones la presencia de *escherichia coli* sobre medios de eosina-azul de metileno por el método de filtros de membrana, utilizando el medio especial de ENDO.

Los resultados que se obtuvieron de las muestras son los siguientes:

#### MUESTRA 1

Las cuentas que se obtuvieron en 100 ml se presentan en forma gráfica en la fig 20. Se observa que a partir del muestreo 23, 18 de mayo, hubo un aumento considerable en el NMP de *escherichia coli*; ese aumento persistió durante varias semanas y pudo deberse a fallas en la esterilización de los frascos para tomar las muestras, o bien ser reflejo de las enfermedades gastrointestinales de ese tiempo.

En lo que toca al NMP de *streptococcus faecalis*, las únicas dos determinaciones que fue po-

TABLA 14  
RESULTADO DE LAS DETERMINACIONES CALCULADAS

| Muestreo |       | Muestra 1       |    |    |     | Muestra 2       |    |    |     | Muestra 3       |    |    |     | Muestra 4       |    |    |     | Muestra 5       |    |    |    | Muestra 6       |    |    |    |
|----------|-------|-----------------|----|----|-----|-----------------|----|----|-----|-----------------|----|----|-----|-----------------|----|----|-----|-----------------|----|----|----|-----------------|----|----|----|
| Nº       | Fecha | CO <sub>2</sub> | Ca | Mg | Na  | CO <sub>2</sub> | Ca | Mg | Na  | CO <sub>2</sub> | Ca | Mg | Na  | CO <sub>2</sub> | Ca | Mg | Na  | CO <sub>2</sub> | Ca | Mg | Na | CO <sub>2</sub> | Ca | Mg | Na |
| 1        | 18-1  |                 |    |    |     |                 |    |    |     |                 |    |    |     | 36              | 37 | 22 |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 2        | 30-1  | 41              | 41 | 22 |     | 41              | 41 | 22 |     | 46              | 41 | 22 |     | 41              | 40 | 9  |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 3        | 2-2   | 42              | 40 | 23 |     | 41              | 41 | 23 |     | 58              | 43 | 23 |     | 71              | 40 | 23 |     | 56              | 40 | 21 |    |                 |    |    |    |
| 4        | 6-2   |                 | 40 | 22 |     |                 | 40 | 23 |     |                 | 43 | 22 |     | 78              | 40 | 22 |     | 63              | 40 | 23 |    |                 |    |    |    |
| 5        | 9-2   | 33              |    |    |     | 23              |    |    |     | 26              |    |    |     | 80              | 40 | 18 |     | 19              | 40 | 19 |    |                 |    |    |    |
| 6        | 13-2  |                 | 44 | 18 |     |                 | 44 | 17 |     |                 | 46 | 16 |     | 34              | 42 | 16 |     | 41              | 44 | 17 |    |                 |    |    |    |
| 7        | 16-2  | 17              |    |    |     | 27              |    |    |     | 30              |    |    |     | 71              | 44 | 18 |     | 54              | 42 | 18 |    |                 |    |    |    |
| 8        | 20-2  | 13              | 44 | 17 |     | 17              | 43 | 18 |     | 21              | 44 | 17 |     | 49              | 44 | 17 |     | 49              | 44 | 17 |    |                 |    |    |    |
| 9        | 28-2  | 14              |    |    |     | 22              |    |    |     | 28              |    |    |     | 82              | 45 | 14 |     | 82              | 45 | 17 |    |                 |    |    |    |
| 10       | 27-2  | 14              | 45 | 17 | 420 | 17              | 45 | 17 |     | 28              | 44 | 17 | 415 | 78              | 44 | 18 |     | 78              | 44 | 18 |    |                 |    |    |    |
| 11       | 2-3   | 14              | 44 | 20 |     | 24              | 44 | 20 |     | 31              | 44 | 20 |     | 108             | 44 | 20 |     | 97              | 44 | 20 |    |                 |    |    |    |
| 12       | 6-3   |                 |    |    |     |                 |    |    |     |                 |    |    |     |                 |    |    |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 13       | 9-3   | 10              | 46 | 19 |     | 2.3             | 46 | 19 |     | 24              | 46 | 19 |     | 96              | 46 | 19 |     | 15              | 46 | 19 |    |                 |    |    |    |
| 14       | 16-3  | 12              | 46 | 18 |     | 3.7             | 44 | 19 |     | 1.2             | 44 | 19 |     | 34              | 44 | 18 |     | 34              | 44 | 18 |    |                 |    |    |    |
| 15       | 20-3  | 7.4             | 46 | 17 |     | 6.0             | 49 | 15 |     | 4.6             | 44 | 19 |     | 38              | 44 | 19 |     |                 | 44 | 19 |    |                 |    |    |    |
| 16       | 30-3  | 6.0             | 46 | 18 |     | 6.1             | 74 | 17 |     | 4.7             | 47 | 16 |     | 15              | 47 | 16 |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 17       | 6-4   | 6.0             | 46 | 19 | 430 | 7.6             | 46 | 15 | 455 | 4.7             | 35 | 25 | 430 | 12              | 42 | 18 | 350 | 9               | 39 | 20 |    |                 |    |    |    |
| 18       | 13-4  | 7.6             | 46 | 14 | 455 | 4.8             | 40 | 20 | 435 | 15              | 43 | 21 | 430 | 41              | 42 | 16 |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 19       | 20-4  | 6.0             | 46 | 20 | 425 | 12              | 46 | 20 | 430 | 9.6             | 45 | 19 | 430 | 31              | 44 | 18 |     | 20              | 44 | 18 |    |                 |    |    |    |
| 20       | 27-4  | 2.4             | 44 | 21 |     | 3.1             | 46 | 18 |     | 3.2             | 47 | 18 |     | 25              | 44 | 18 |     | 29              | 46 | 17 |    |                 |    |    |    |
| 21       | 4-5   | 2.0             | 43 | 23 |     | 3.2             | 48 | 22 |     | 3.8             | 46 | 22 |     | 25              | 40 | 20 |     |                 |    |    |    | 106             | 35 |    |    |
| 22       | 11-5  | 1.2             | 49 | 22 | 440 | 2.0             | 49 | 22 |     | 7.6             | 49 | 22 |     | 25              | 40 | 18 |     |                 |    |    |    | 104             | 34 |    |    |
| 23       | 18-5  | 1.0             | 49 | 22 |     | 1.3             | 48 | 23 |     | 1.6             | 48 | 23 |     | 13              | 44 | 18 |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 24       | 2-6   | 1.7             | 53 | 19 |     | 1.6             | 53 | 19 |     | 1.6             | 51 | 20 |     | 26              | 40 | 19 |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 25       | 8-6   | 2.1             | 51 | 20 |     | 2.1             | 53 | 19 |     | 2.1             | 53 | 19 |     | 15              | 42 | 18 |     |                 |    |    | 26 | 106             | 33 |    |    |
| 26       | 15-6  | 2.5             | 53 | 20 |     | 2.5             | 53 | 20 |     | 2.5             | 53 | 20 |     | 9               | 39 | 19 |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 27       | 22-6  | 4.1             | 53 | 20 |     | 4.0             | 53 | 20 |     | 3.3             | 53 | 20 |     | 26              | 42 | 17 |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 28       | 29-6  | 4.3             | 51 | 21 |     | 3.4             | 51 | 21 |     | 3.5             | 51 | 21 |     | 20              | 40 | 18 |     |                 |    |    | 13 | 160             | 33 |    |    |
| 29       | 6-7   | 6.4             | 53 | 20 | 480 | 8.5             | 53 | 20 |     | 10              | 53 | 20 |     | 63              | 40 | 18 |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 30       | 13-7  | 5.4             | 53 | 20 |     | 5.2             | 53 | 20 |     | 6.6             | 53 | 20 |     | 20              | 40 | 18 |     |                 |    |    | 21 | 104             | 34 |    |    |
| 31       | 20-7  | 8.6             | 51 | 24 | 480 | 13              |    |    | 480 | 13              | 50 | 22 | 480 | 21              | 42 | 18 | 485 |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 32       | 27-7  | 5.2             | 50 | 22 | 480 | 6.4             | 50 | 23 | 475 | 6.6             | 50 | 23 | 475 | 20              | 40 | 19 | 430 |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 33       | 3-8   | 2.2             | 51 | 21 |     |                 |    |    |     |                 |    |    |     | 29              | 42 | 18 |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 34       | 10-8  | 2.2             | 51 | 22 | 485 |                 |    |    |     |                 |    |    |     |                 | 42 | 19 |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 35       | 17-8  |                 | 48 | 23 |     |                 |    |    |     | 3.4             | 48 | 23 | 485 | 24              | 40 | 19 | 310 |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 36       | 24-8  | 4.9             | 50 | 23 |     |                 |    |    |     | 1.1             | 48 | 23 |     |                 |    |    |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
| 37       | 31-8  | 1.4             | 51 | 22 |     |                 |    |    |     | 1.1             | 51 | 22 |     |                 | 43 | 18 |     |                 |    |    |    |                 |    |    |    |

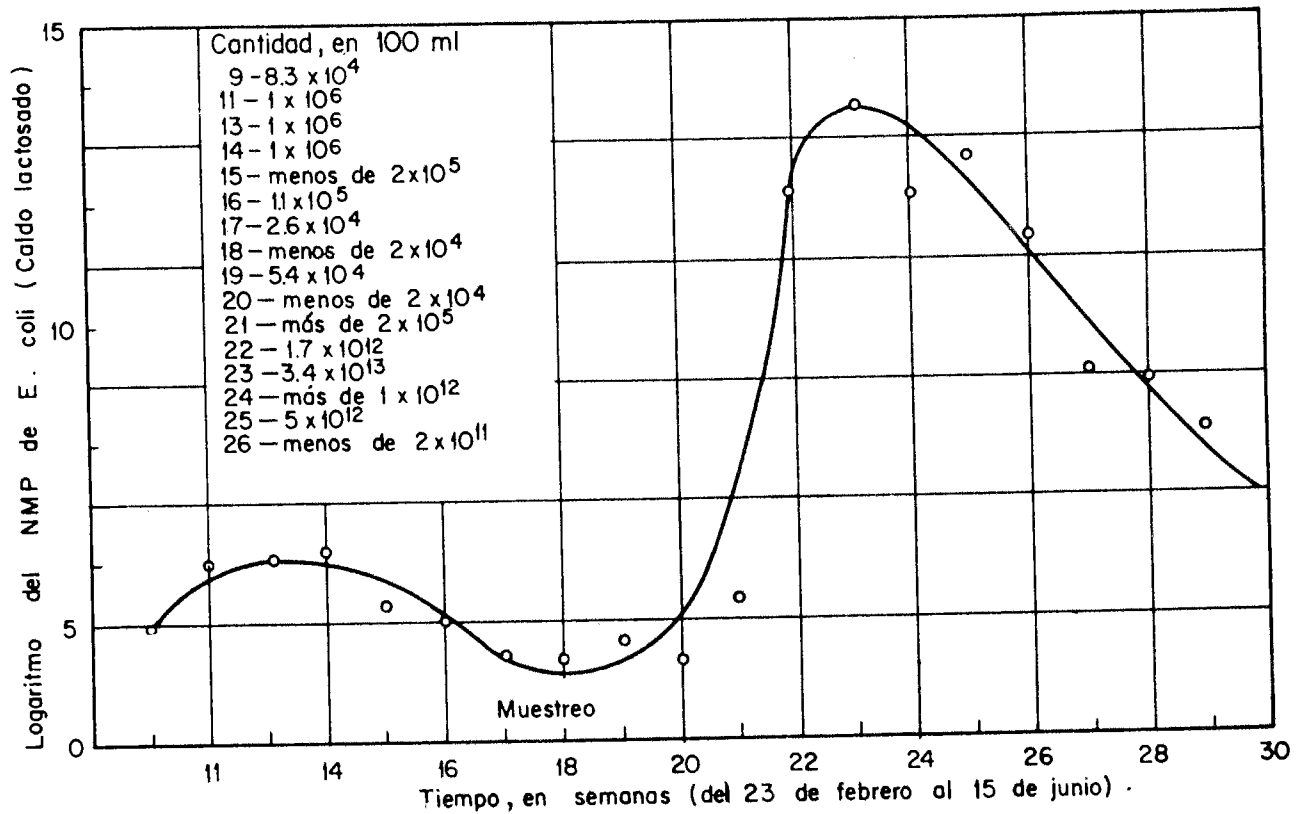


FIG. 20-1 Laguna del Mezquital

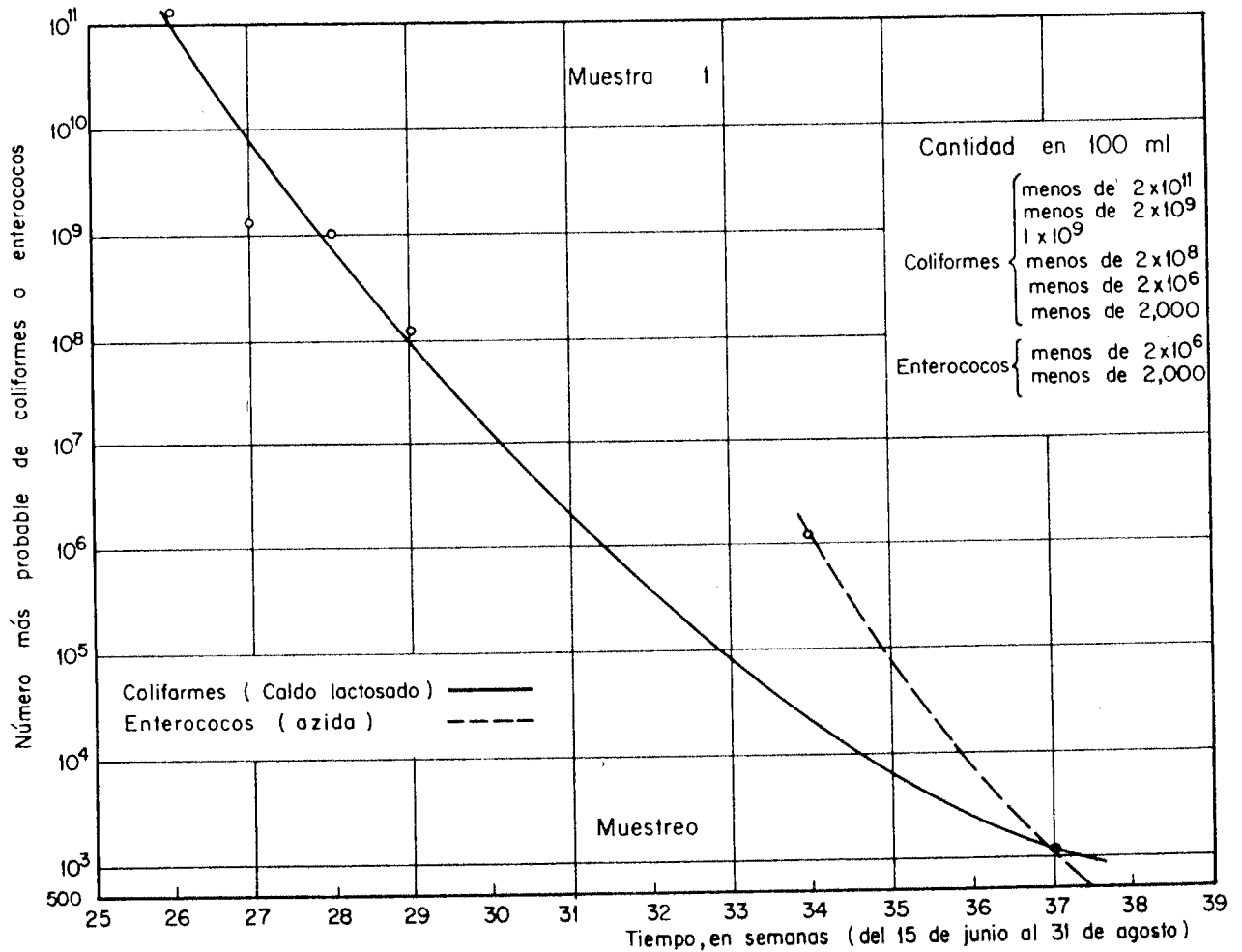


FIG. 20-2 Laguna del Mezquital

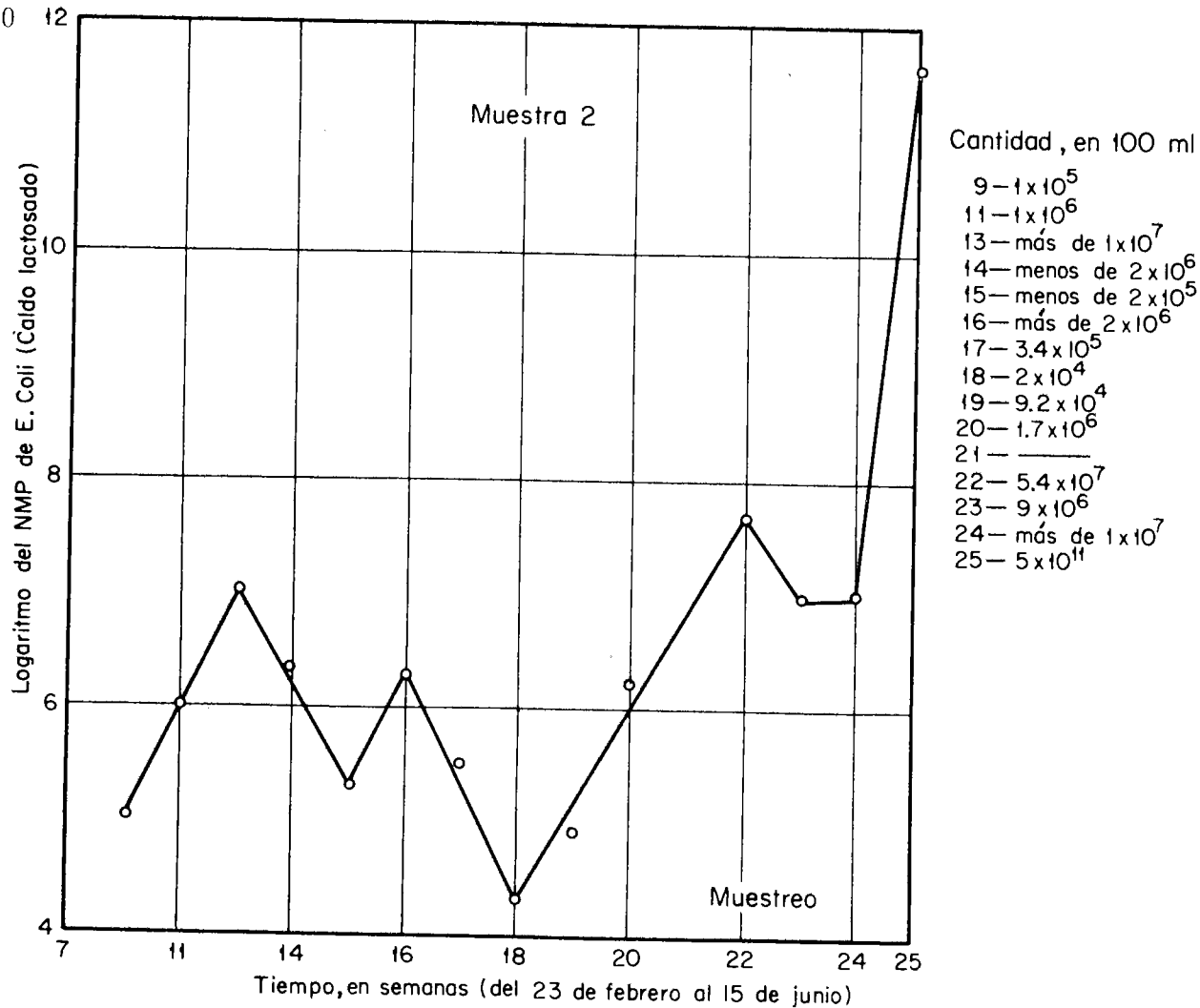


FIG. 21 Laguna del Mezquital

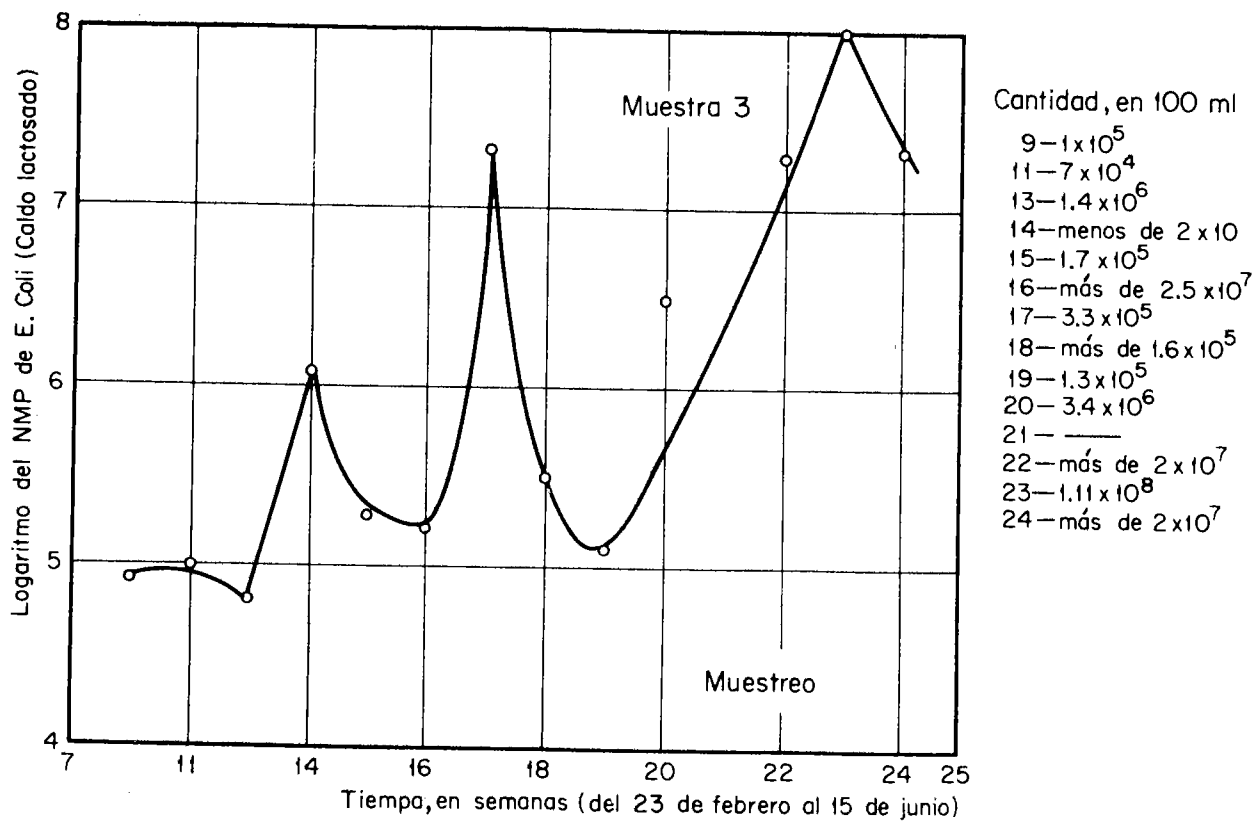


FIG. 22 Laguna del Mezquital

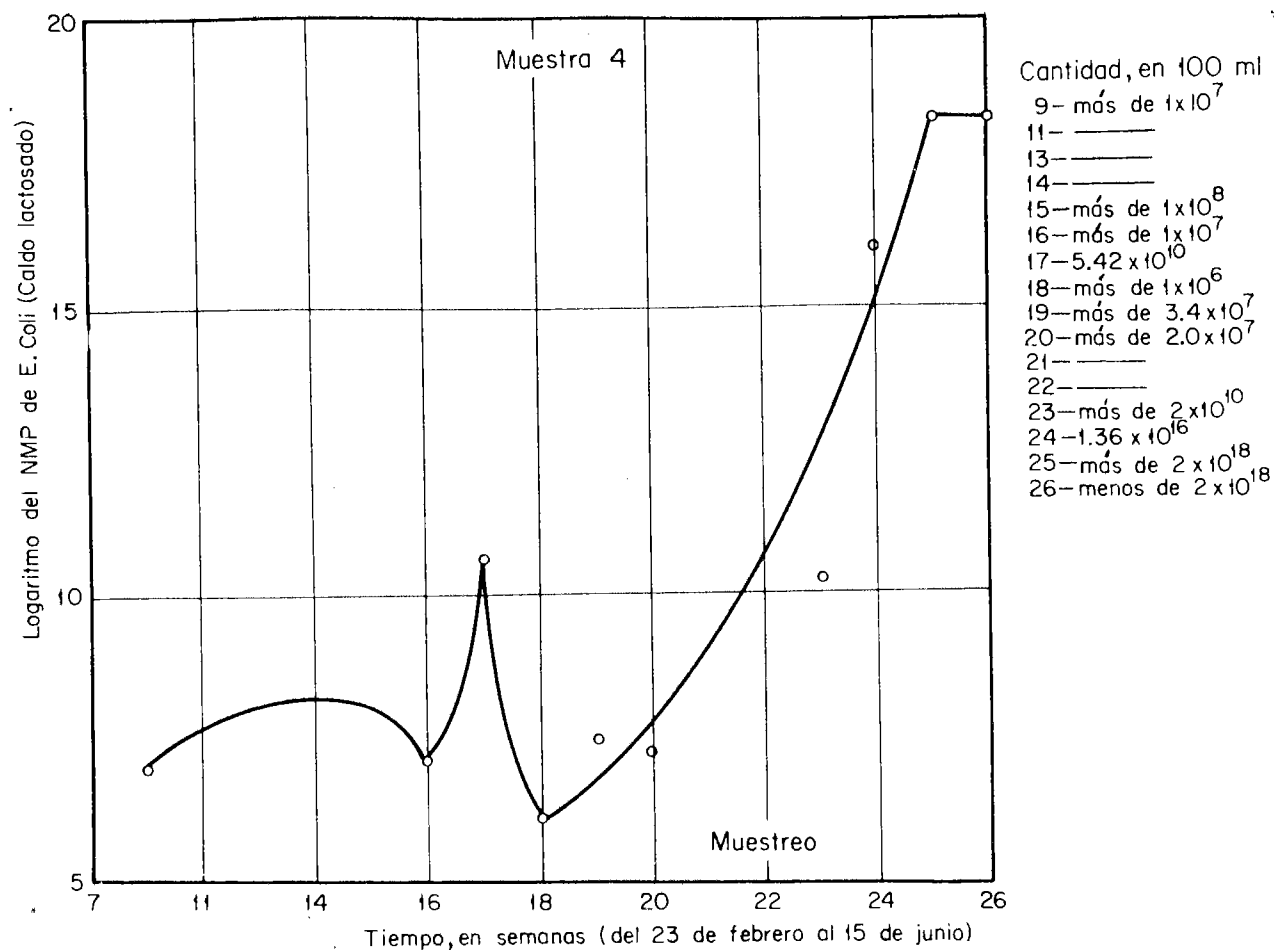


FIG. 23-1 Laguna del Mezquital

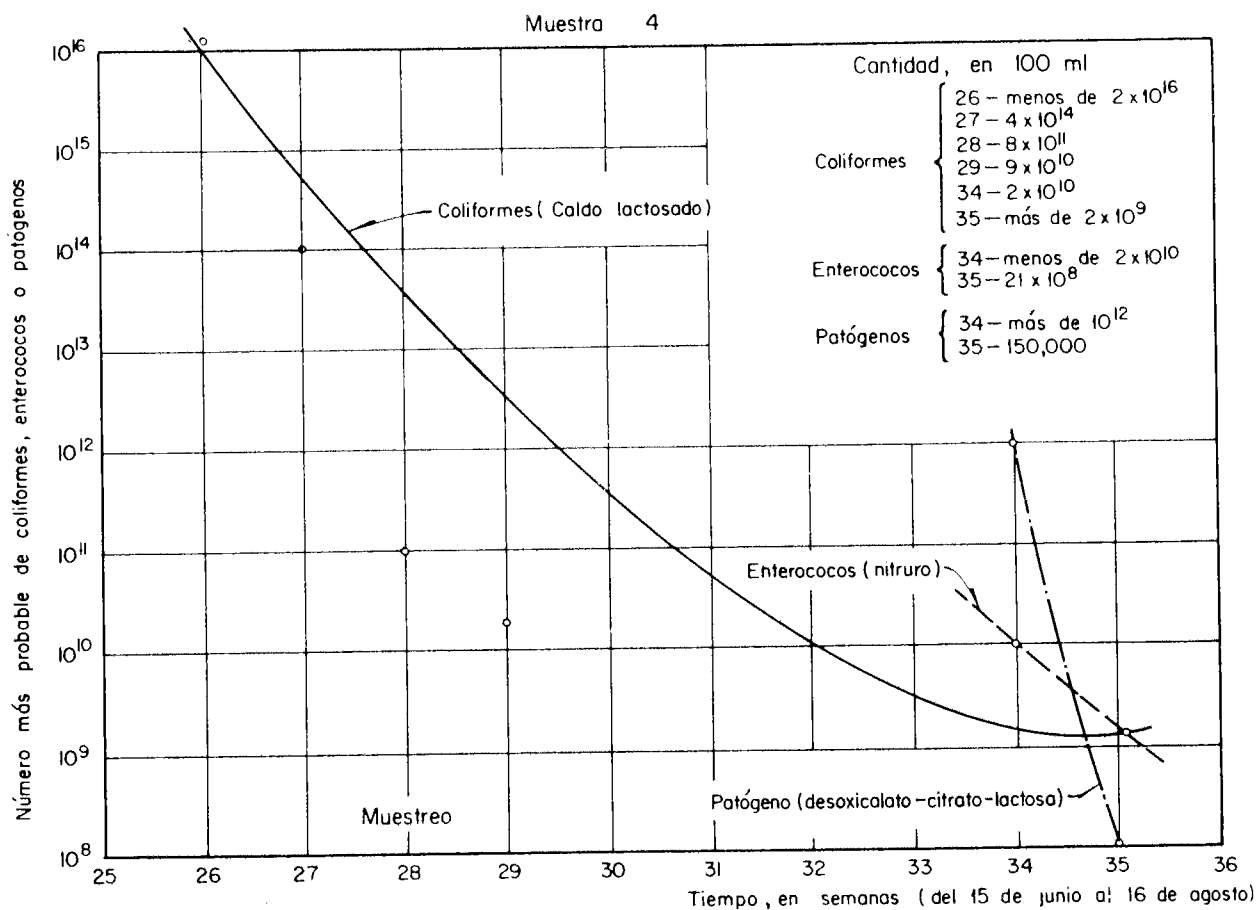


FIG. 23-2 Laguna del Mezquital

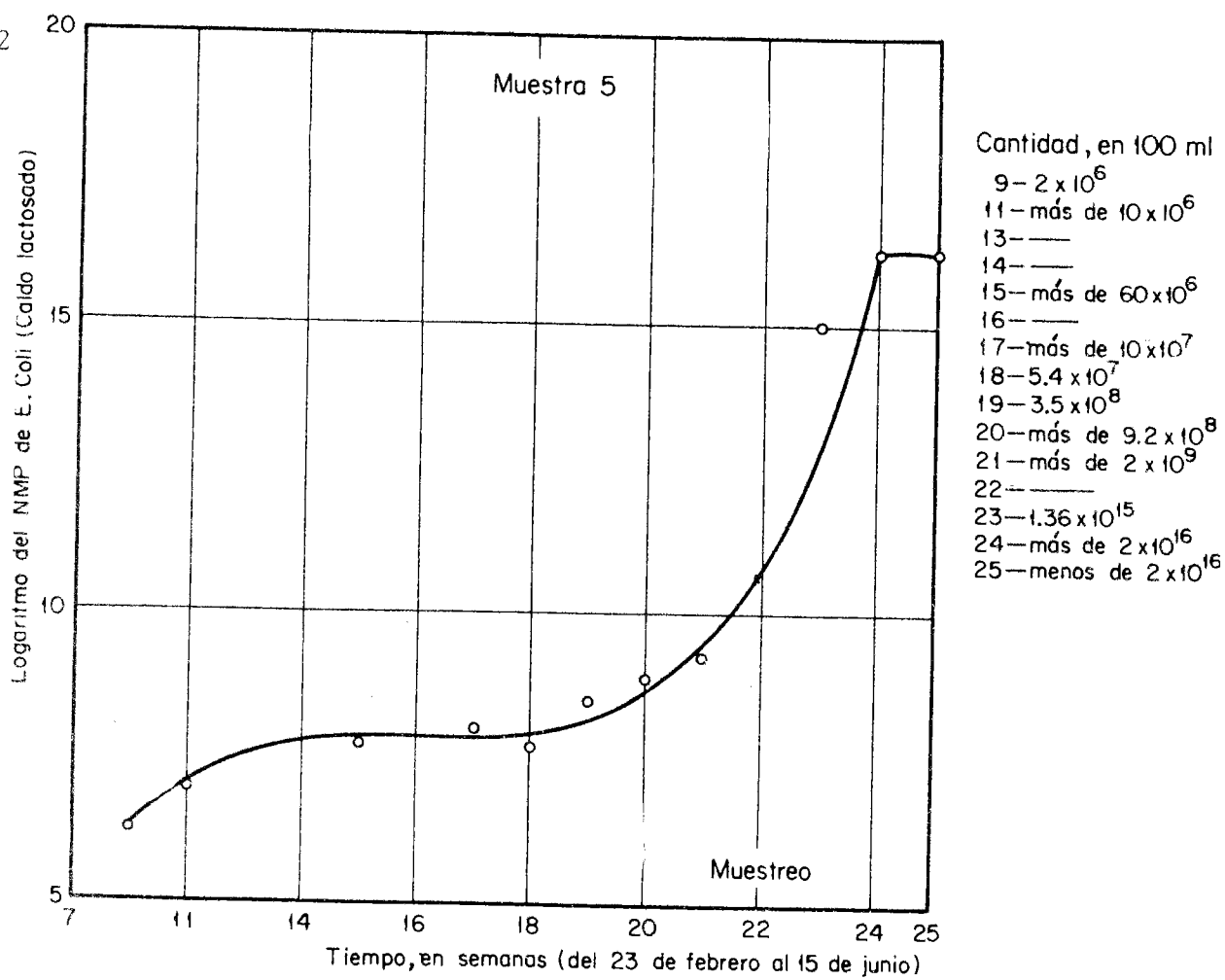


Fig. 24 Laguna del Mezquital

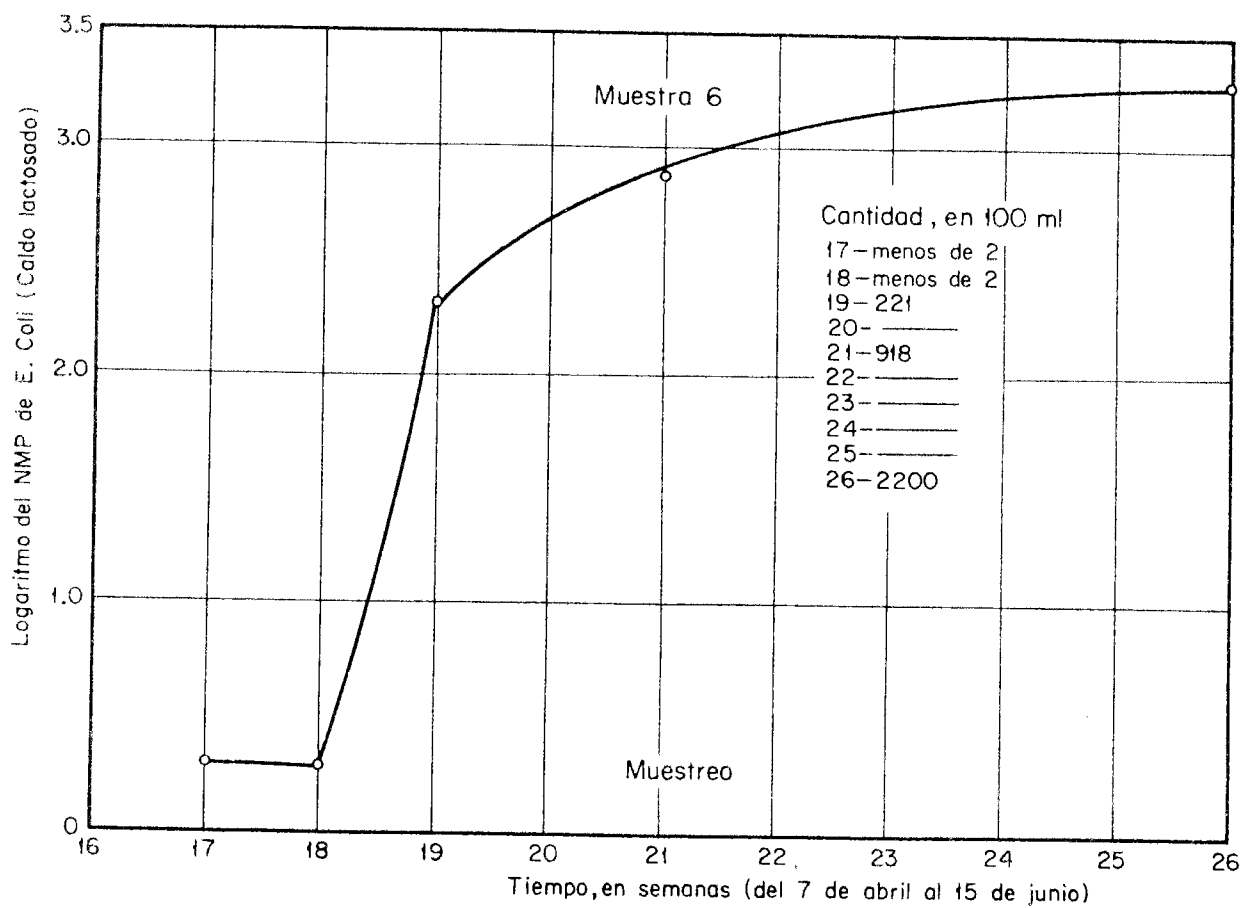


Fig. 25-1 Laguna del Mezquital

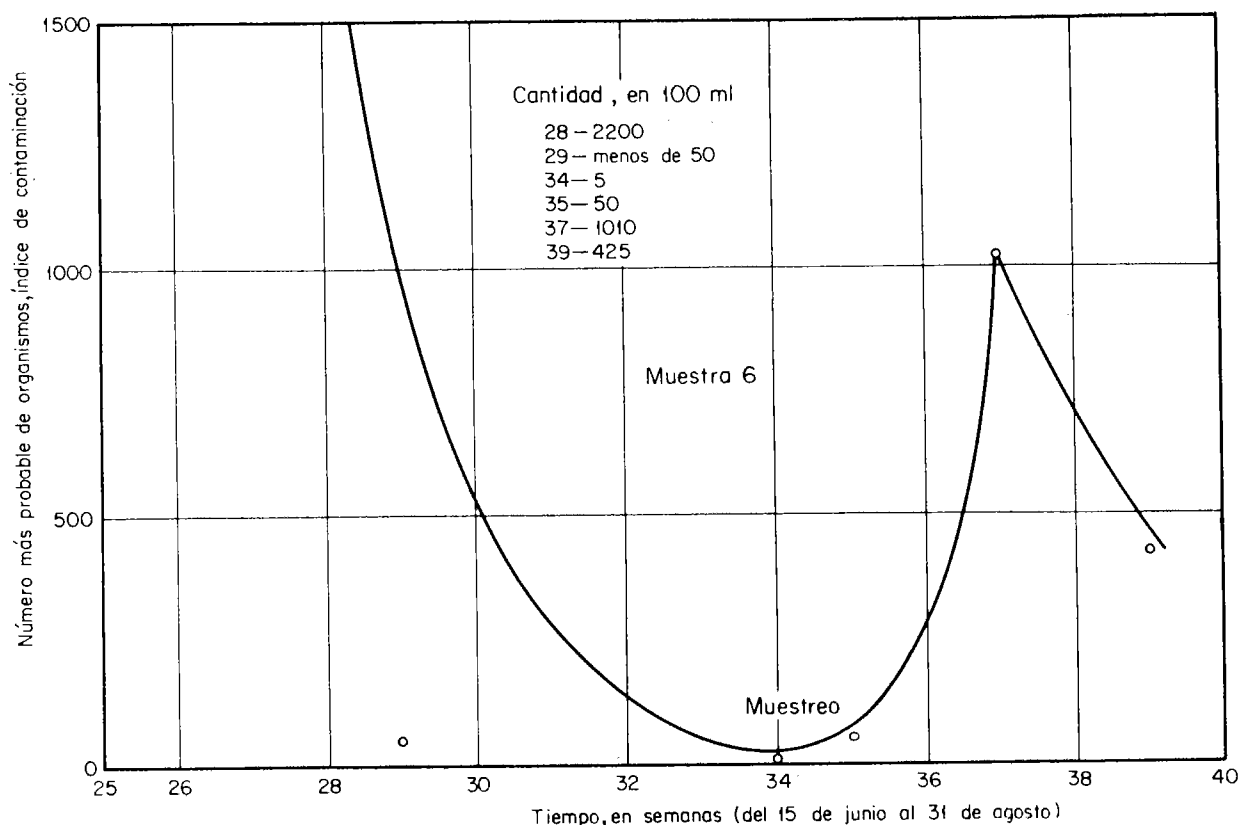


Fig. 25-2 Laguna del Mezquital

sible hacer, coinciden con el último tramo de la curva para *escherichia coli*.

#### MUESTRA 2

Al principio se observaron oscilaciones mayores que para la muestra 1, según puede verse en la fig 21, los resultados de los análisis se anotan en la misma figura, donde las cifras se refieren a 100 ml.

#### MUESTRA 3

Las variaciones que se observan en las determinaciones de esta muestra también son muy grandes.

Los resultados que arrojan los diversos análisis efectuados se consignan en la fig 22; todas las cifras corresponden al NMP en 100 ml de la muestra.

#### MUESTRAS 4 Y 5

Las muestras 4 y 5 fueron de aguas negras crudas, y por lo mismo, los análisis arrojaron cifras mayores que para las otras muestras.

Los resultados pueden observarse en las figs 23 y 24. En ellas se aprecia también la tendencia al aumento del número de microorganismos en los muestreos de junio y julio.

Los análisis hechos con nitrato para determinar el número más probable de *streptococcus fae-*

*calis* dieron como resultado las cantidades que se anotan en las mismas figuras.

#### MUESTRA 6

Las primeras determinaciones que se hicieron fueron en ENDO, usando filtros de membrana y desoxicalato-citrato-lactosa, así como eosina-azul de metileno, utilizando además el equipo de campo. Los números que se obtuvieron por 100 ml se anotan en la fig 25.

La fluctuación es bastante grande, pero esto es normal tratándose de aguas de filtración, en las que influye definitivamente la contaminación de las aguas negras de las que proceden, y que no es siempre constante.

#### 7.2 Análisis microscópico

Suponiendo de antemano que en el modelo se desarrollaría una abundante vida acuática microscópica, se creyó conveniente desde un principio observar las muestras sin concentrar para evitar mayores causas de error en la determinación del número de organismos por mililitro.

El procedimiento que se adoptó para efectuar el recuento, fue escoger 10 campos de la celda de Sedwich-Rafter, para definir por el promedio, el total de organismos contenidos en el mililitro observado.

La gran mayoría de los organismos desarrollados pueden considerarse dentro del fitoplancton;

Muestra 1

| Organismos<br>por<br>ml<br>Fecha | Chlamidomona | Chlorococcum<br>humicola | Chlorosarcina<br>consociata | Coelastrum<br>combricum | Nitzschia | Euglena | Pascheriella<br>tetras | Botryococcus | Phacus |
|----------------------------------|--------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------|---------|------------------------|--------------|--------|
| 6-II                             | 6500         | 66000                    |                             |                         |           |         |                        |              |        |
| 20-II                            | 790000       |                          |                             |                         |           |         |                        |              |        |
| 27-II                            | 469000       |                          |                             |                         |           |         |                        |              |        |
| 2-III                            | 622000       |                          |                             |                         |           |         |                        |              |        |
| 9-III                            | 338000       |                          |                             |                         |           |         |                        |              |        |
| 7-IV                             | 339000       |                          |                             | 18000                   | 1000      | 7000    |                        |              |        |
| 13-IV                            | 200000       |                          |                             | 2000                    |           | 12000   | 1000                   | 25000        |        |
| 20-IV                            | 127000       |                          |                             |                         |           | 8000    | 1000                   | 58000        |        |
| 27-IV                            | 133000       |                          |                             |                         | 1000      | 53000   |                        |              |        |
| 4-V                              | 63000        |                          |                             |                         |           |         |                        | 40000        |        |
| 11-V                             |              |                          |                             |                         |           | 220000  |                        |              |        |
| 2-VI                             | 26000        |                          |                             |                         | 14000     | 2000    |                        | 35000        |        |
| 15-VI                            |              |                          |                             |                         |           |         |                        |              | 1000   |
| 22-VI                            |              |                          |                             |                         | 5000      | 9000    |                        |              | 8000   |
| 29-VI                            |              |                          |                             |                         | 1000      | 3000    |                        |              | 9000   |
| 6-VII                            |              |                          |                             |                         |           | 2000    |                        |              | 7000   |
| 13-VII                           |              |                          |                             |                         | 3000      |         |                        | 2000         |        |
| 20-VII                           |              |                          |                             |                         | 1000      | 4000    |                        |              | 1000   |
| 27-VII                           |              |                          |                             | 16000                   | 1000      | 16000   |                        | 1000         |        |
| 3-VIII                           |              |                          |                             |                         | 1000      | 9000    |                        | 40000        | 1000   |
| 10-VIII                          |              |                          |                             | 14000                   |           | 3000    |                        | 10000        |        |
| 5-X                              | 2000         |                          | 34000                       | 5000                    |           |         |                        |              |        |

Fig. 26 Fitoplancton observado

Muestra 2

| Organismos<br>por<br>ml<br>Fecha | Chlamidomona | Coelastrum | Euglena | Nitzschia | Pascheriella | Botryococcus | Phacus | Pyrobotrys |
|----------------------------------|--------------|------------|---------|-----------|--------------|--------------|--------|------------|
| 20-II                            | 389000       |            |         |           |              |              |        |            |
| 9-III                            | 150000       |            |         |           |              |              |        |            |
| 7-IV                             | 118000       | 2000       | 1000    | 2000      |              |              |        |            |
| 13-IV                            | 150000       |            | 2000    | 1000      | 1000         | 15000        |        |            |
| 20-IV                            | 49000        |            | 7000    | 1000      |              | 9000         |        |            |
| 27-IV                            | 51000        |            | 11000   |           |              |              |        |            |
| 4-V                              | 7000         |            |         | 1000      |              | 28000        |        |            |
| 11-V                             |              |            | 43000   |           |              |              |        |            |
| 2-VI                             | 7000         |            |         |           |              | 5000         |        |            |
| 15-VI                            | 7000         |            |         |           |              | 1000         |        |            |
| 22-VI                            |              |            | 2000    | 1000      |              |              | 1000   |            |
| 29-VI                            |              |            | 1000    |           |              |              | 4000   | 2000       |
| 6-VII                            |              |            |         |           |              |              | 2000   |            |
| 13-VII                           |              |            |         | 2000      |              | 1000         |        | 1000       |
| 20-VII                           |              |            | 1000    | 1000      |              |              | 1000   |            |
| 27-VII                           |              | 7000       | 12000   | 3000      |              |              |        |            |
| 3-VIII                           |              |            | 2000    |           |              | 5000         |        |            |

Fig. 27 Fitoplancton observado

Muestra 3

| Organismos<br>por<br>ml<br>Fecha | Chlamidomona | Coelastrum<br>combricum | Euglena | Nitzschia | Chlorosarcina<br>consociata | Botryococcus | Vorticella | Phacus | Pyrobotrys |
|----------------------------------|--------------|-------------------------|---------|-----------|-----------------------------|--------------|------------|--------|------------|
| 16-II                            | 338000       |                         |         |           |                             |              |            |        |            |
| 20-II                            | 490000       |                         |         |           |                             |              |            |        |            |
| 27-II                            | 260000       |                         |         |           |                             |              |            |        |            |
| 9-III                            | 280000       |                         |         |           |                             |              |            |        |            |
| 7-IV                             | 68000        | 1000                    |         |           |                             |              |            |        |            |
| 13-IV                            | 142000       |                         | 5000    |           |                             |              |            |        |            |
| 20-IV                            | 101000       |                         | 5000    | 1000      |                             | 6000         |            |        |            |
| 27-IV                            | 44000        |                         | 3000    |           |                             | 3000         | 1000       |        |            |
| 4-V                              | 36000        |                         |         | 5000      |                             |              | 20000      |        |            |
| 2-VI                             | 9000         |                         | 2000    | 2000      |                             | 23000        |            |        |            |
| 15-VI                            | 6000         |                         |         |           |                             | 10000        |            |        |            |
| 22-VI                            |              |                         | 2000    | 4000      |                             |              |            | 9000   |            |
| 29-VI                            |              |                         | 2000    |           |                             |              |            | 6000   | 1000       |
| 6-VII                            |              |                         |         | 4000      |                             |              |            | 1000   | 1000       |
| 13-VII                           |              |                         |         | 2000      |                             | 3000         |            |        |            |
| 20-VII                           |              |                         | 1000    | 2000      |                             | 5000         |            |        |            |
| 27-VII                           |              |                         | 1000    | 4000      |                             | 2000         |            |        |            |
| 3-VIII                           |              |                         | 2000    | 3000      |                             | 4000         |            |        |            |
| 17-VIII                          |              | 5000                    |         | 40000     |                             | 7000         |            | 6000   |            |
| 5-X                              |              |                         |         | 1000      | 26000                       |              |            |        |            |

FIG. 28 Fitoplancton observado

la parte animal fue muy escasa y sólo se encontró esporádicamente. Las figs 26, 27, 28 y 29 resumen los datos del plancton en las muestras 1, 2, 3 y 4, respectivamente. En ellas se puede observar que los organismos más abundantes son las *chlamidomonas* que como es natural, debido a sus propiedades, fueron las primeras que se presentaron.

La variación en número se hace más notable en las figs 30, 31, 32 y 33.

A medida que las *chlamidomonas* disminuían en las aguas del modelo, se desarrollaba el grupo de otras algas cuyos géneros principales fueron la *euglena*, el *phacus* y el *botryococcus*; con el conjunto de ellos se elaboraron gráficas en las figuras antes mencionadas, haciéndose resaltar que en el modelo llegaron a su contenido máximo en el mes de mayo y que en las aguas negras también se observa ese mismo incremento. Cabe aclarar que si existe un incremento de algas en las aguas negras crudas, en este caso se debe a que el tanque regulador no se usó en los últimos meses del estudio, y actuó como lo hizo el modelo en un principio.

## 8. ESTUDIOS ESPECIALES

### 8.1 Agua para riego

Según el contenido de sólidos disueltos, las aguas se pueden clasificar en relación con la salinidad, como se indica en la tabla 15, que fue tomada de la Revista Ingeniería Hidráulica, Vol. 19, N° 1, México (1965).

TABLA 15

CALIDAD DEL AGUA EN GENERAL, DE ACUERDO CON LOS SÓLIDOS DISUELTOS

|                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| Dulce                 | menos de 1,000 ppm     |
| Salobre               | 1,000 a 35,000         |
| Escasamente salobre   | 1,000 a 5,000          |
| Moderadamente salobre | 5,000 a 15,000         |
| Fuertemente salobre   | 15,000 a 35,000        |
| Aguas de mar          | aproximadamente 35,000 |
| Salmuera              | más de 35,000          |

Se puede decir que, para su empleo en riego, según los sólidos que haya disueltos en el agua, esta es

|                     |               |
|---------------------|---------------|
| Buena, cuando tiene | 0 a 500 ppm   |
| Mediana             | 500 a 1,200   |
| Sospechosa          | 1,200 a 2,000 |
| Peligrosa           | 2,000 a 3,250 |
| Desechable          | 3,250 o más   |

Las aguas negras crudas, muestra 4, tuvieron un contenido medio de 1,340 ppm de sólidos disueltos con un máximo de 2,016 ppm; según la clasificación de la tabla 15, es agua sospechosa.

## Muestra 4

| Organismos<br>por<br>Fecha ml | Chlamidomona | Chroococcus<br>Prescottii | Radiococcus<br>nimbotus | Euglena | Botryococcus | Nitzschia | Coelastrum<br>combricum | Pyrobotrys | Phacus |
|-------------------------------|--------------|---------------------------|-------------------------|---------|--------------|-----------|-------------------------|------------|--------|
| 4 - II                        | 71000        | 1500                      | 500                     |         |              |           |                         |            |        |
| 9 - II                        | 57000        | 2000                      |                         |         |              |           |                         |            |        |
| 13 - II                       |              |                           |                         | 20      | 35           | 45        |                         |            |        |
| 27 - II                       | 14500        |                           |                         |         |              |           |                         |            |        |
| 7 - III                       | 12000        |                           |                         |         | 3000         |           | 21000                   |            |        |
| 20 - IV                       |              | Lodos                     |                         |         |              |           |                         |            |        |
| 17 - VIII                     |              |                           |                         |         | 13000        |           |                         | 1000       | 1000   |
| 5 - X                         |              |                           |                         | 3000    |              | 2000      |                         |            | 26000  |

Fig. 29 Fitoplancton observado

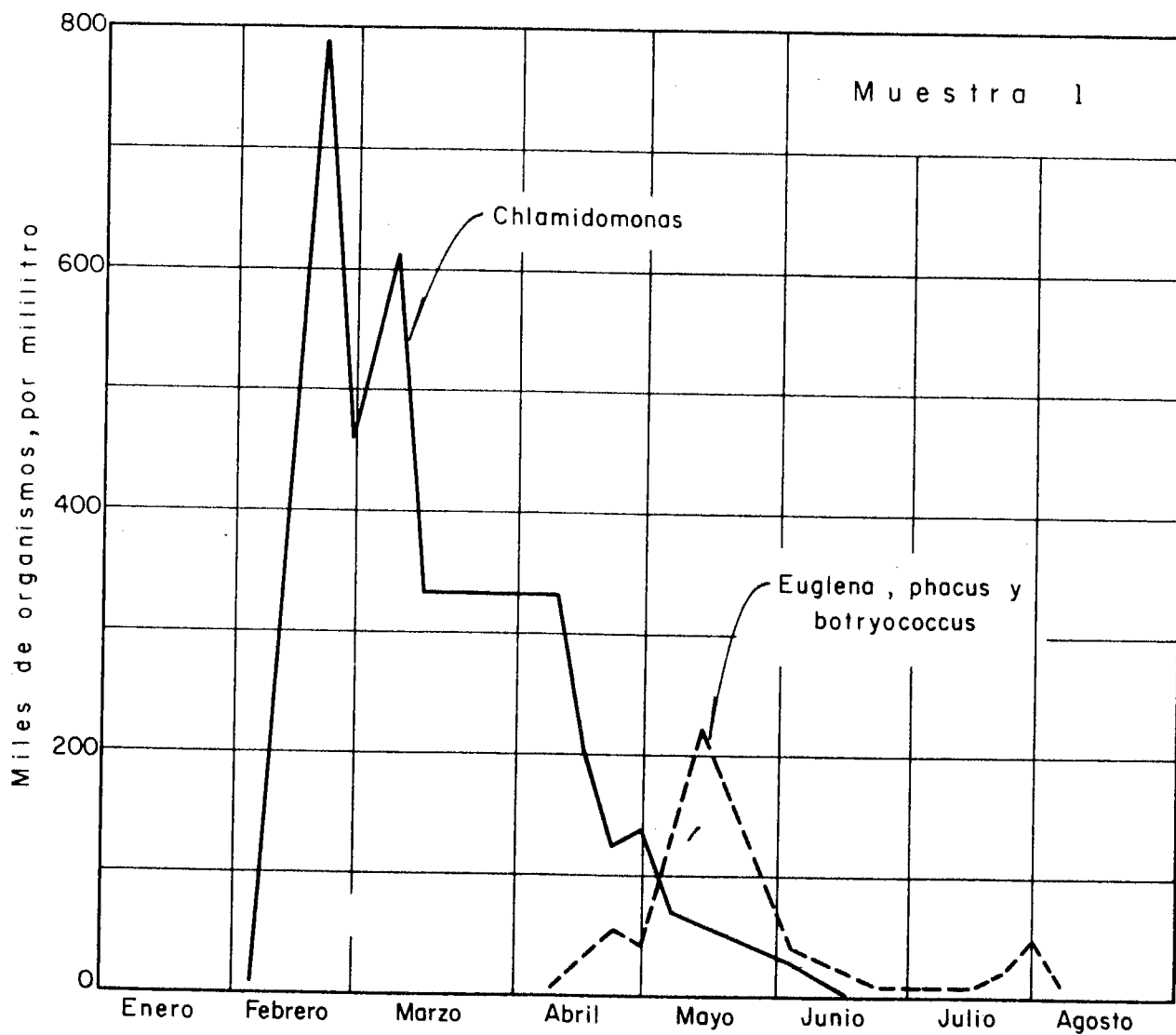


Fig. 30 Gráfica del fitoplancton

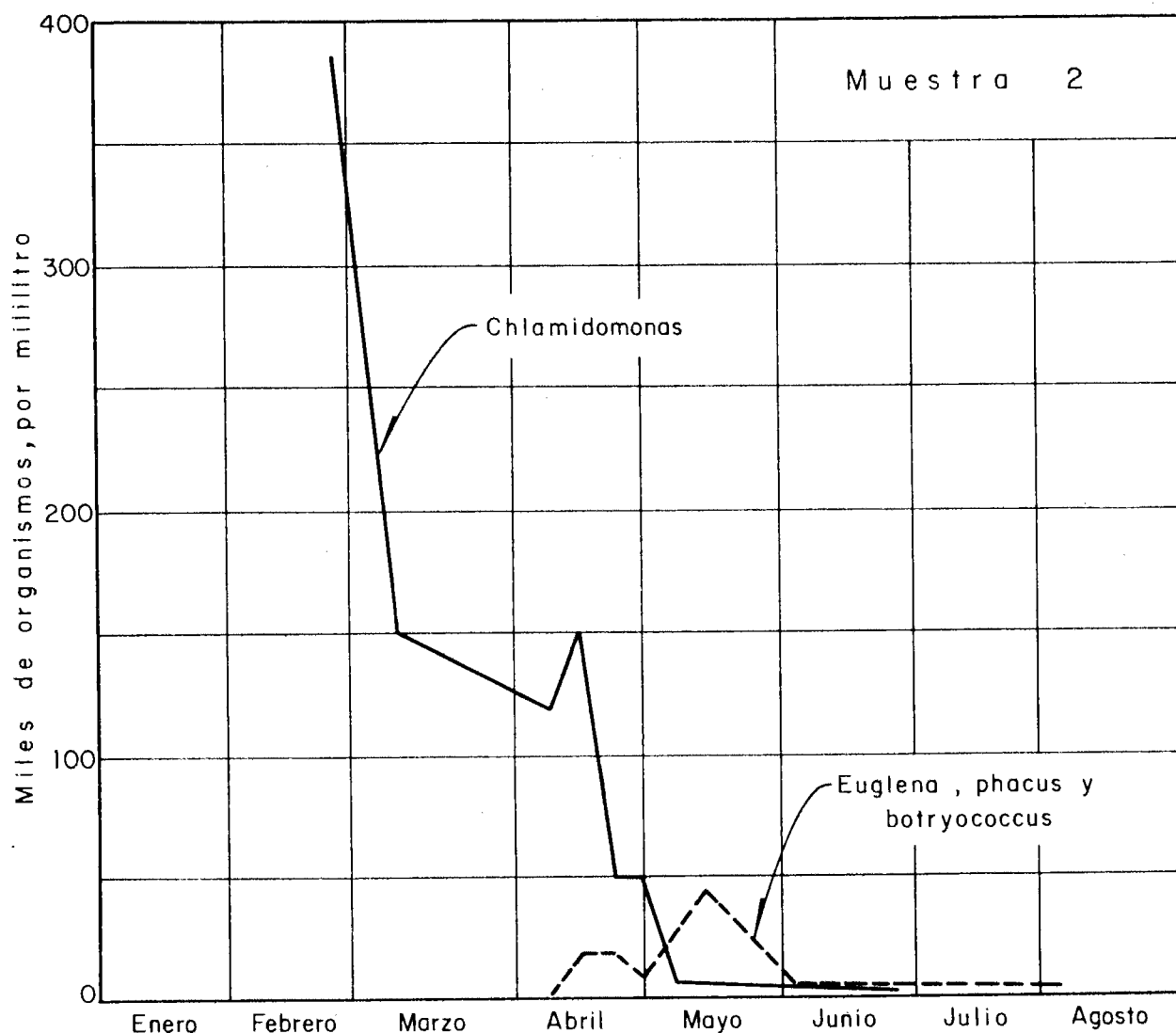


FIG. 31 Gráfica del fitoplancton

La tendencia de los sólidos disueltos en las aguas del modelo es la de ir aumentando con respecto al tiempo de almacenamiento, debido a la concentración por la evaporación; sin embargo, continúan dentro de la clasificación de sospechosas.

Existe otra clasificación de las aguas que se emplean en riego y que está en función de la conductividad eléctrica y el porcentaje de adsorción de sodio, PAS o RAS; también es importante considerar el porcentaje de sodio intercambiable. Los valores del PAS y del % Na inter, se anotan en la tabla 16. Igualmente aparece la clasificación del agua según sus características.

Puede observarse en esa clasificación que las aguas negras son muy variables y que las aguas del modelo están en las mismas condiciones, sin empeorar nunca.

Se ha representado en la fig 34 un análisis de las muestras 1 y 4 sobre diagramas semilogarítmicos de análisis de agua, que usa el Instituto de

Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México. Puede apreciarse, por el paralelismo de las líneas, que son aguas con concentraciones distintas, pero con las mismas relaciones entre los diversos elementos. Se refleja por la posición, que el almacenamiento hace incrementar el contenido de los iones, pero no en una forma notable. Por la comparación entre el pH de equilibrio y el pH medido en laboratorio, se conoce que ambas son incrustantes.

De acuerdo con todo lo anterior, se infiere que el almacenamiento de las aguas negras no perjudica la calidad de las mismas para el uso agrícola.

## 8.2 Agua filtrada

El tanque regulador está localizado en la parte más alta de una zona agrícola de riego; uno de sus canales de distribución corre hacia el noroeste y después de regar unas tierras, algo del agua fil-

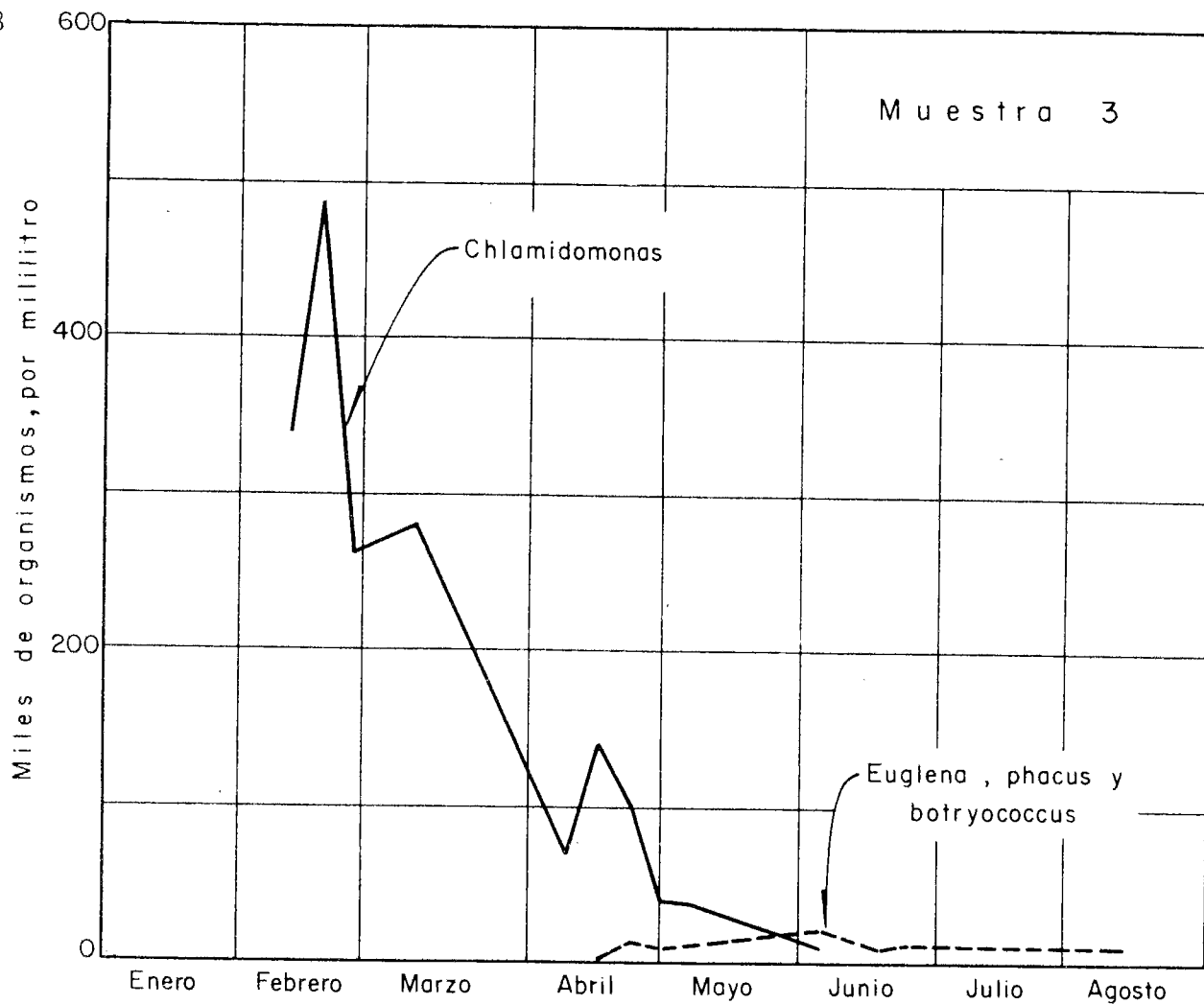


Fig. 32 Gráfica del fitoplancton

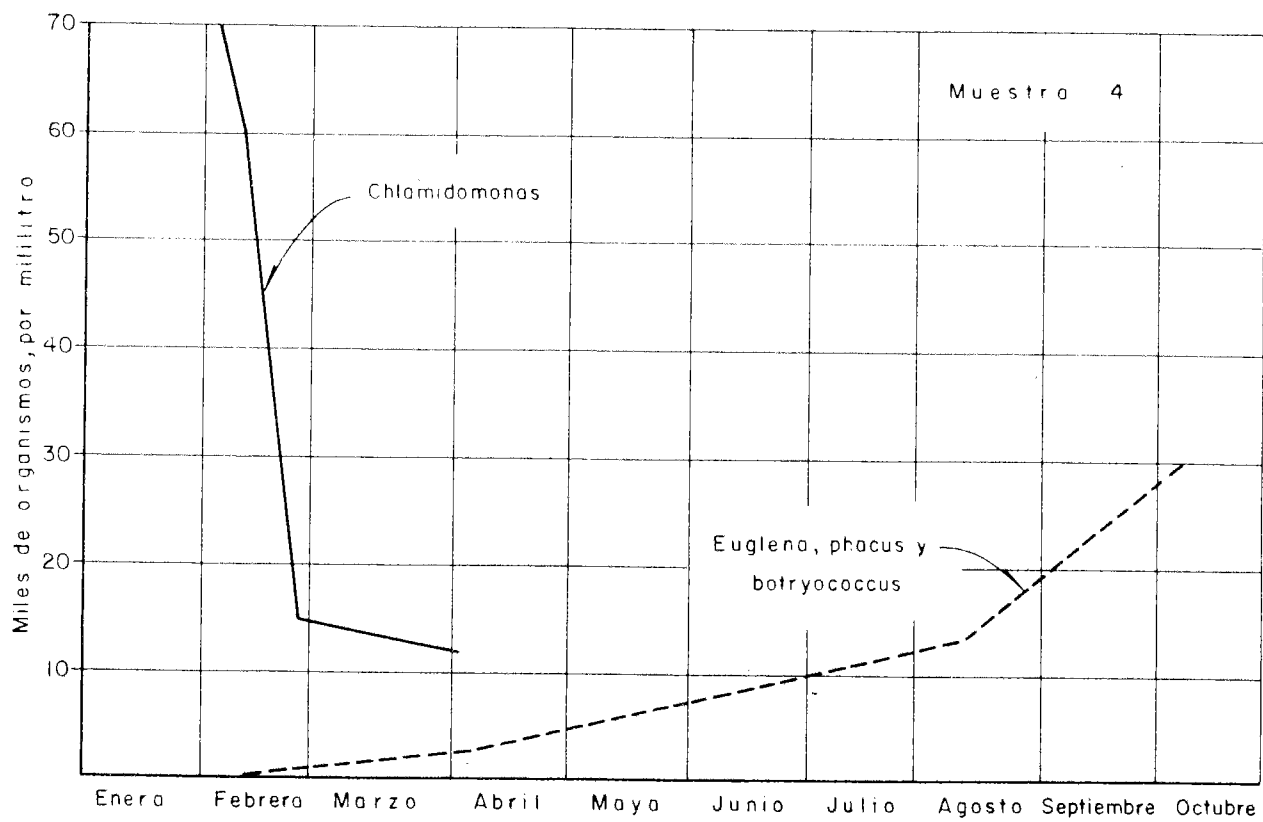


Fig. 33 Gráfica del fitoplancton

TABLA 16  
 PROPORCIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO (PAS)  
 PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE Y TIPO DE AGUA RESULTANTE

MUESTRA 1

| Muestreo |       | PAS  | % Na<br>intercam-<br>biable | Tipo de agua resultante |           |                    |
|----------|-------|------|-----------------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| Nº       | Fecha |      |                             | Alcalinidad             | Salinidad | Clasifi-<br>cación |
| 10       | 27-2  | 14.2 | 16.5                        | alta                    | alta      | C3-53              |
| 17       | 6-4   | 13.9 | 16.0                        | alta                    | alta      | C3-53              |
| 18       | 13-4  | 15.3 | 17.5                        | alta                    | alta      | C3-53              |
| 19       | 20-4  | 13.9 | 16.0                        | alta                    | alta      | C3-53              |
| 22       | 11-5  | 13.7 | 16.0                        | alta                    | alta      | C3-53              |
| 29       | 6-7   | 14.8 | 17.3                        | muy alta                | muy alta  | C3-54              |
| 31       | 20-7  | 14.7 | 17.3                        | muy alta                | muy alta  | C3-54              |
| 32       | 27-7  | 14.6 | 17.3                        | muy alta                | muy alta  | C3-54              |
| 34       | 10-8  | 14.7 | 17.3                        | muy alta                | muy alta  | C3-54              |

MUESTRA 2

|    |      |      |      |      |      |       |
|----|------|------|------|------|------|-------|
| 17 | 6-4  | 15.0 | 17.5 | alta | alta | C3-53 |
| 18 | 13-4 | 14.8 | 17.4 | alta | alta | C3-53 |
| 19 | 20-4 | 14.0 | 16.2 | alta | alta | C3-53 |
| 31 | 20-7 | 14.2 | 16.5 | alta | alta | C3-53 |
| 32 | 27-7 | 14.0 | 16.2 | alta | alta | C3-53 |

MUESTRA 3

|    |      |      |      |      |      |       |
|----|------|------|------|------|------|-------|
| 10 | 27-2 | 14.0 | 16.2 | alta | alta | C3-53 |
| 17 | 6-4  | 14.2 | 16.5 | alta | alta | C3-53 |
| 18 | 13-4 | 14.2 | 16.5 | alta | alta | C3-53 |
| 19 | 20-4 | 14.2 | 16.5 | alta | alta | C3-53 |
| 31 | 20-7 | 14.0 | 16.2 | alta | alta | C3-53 |
| 32 | 27-7 | 14.0 | 16.2 | alta | alta | C3-53 |
| 35 | 17-8 | 14.5 | 16.8 |      |      | C3-53 |

MUESTRA 4

|    |      |      |      |          |          |       |
|----|------|------|------|----------|----------|-------|
| 17 | 6-4  | 11.5 | 13.7 | alta     | alta     | C3-53 |
| 31 | 20-4 | 15.8 | 18.2 | muy alta | muy alta | C3-54 |
| 32 | 27-7 | 14.5 | 16.8 | alta     | alta     | C3-53 |
| 34 | 10-8 | 10.5 | 12.5 | alta     | alta     | C3-53 |

trada sale en forma de lloradero por un corte vertical. Al tener noticia de esta salida, se comenzó a recolectar para su análisis. Los datos de campo se consignan en la tabla 3 a partir del muestreo 21.

El agua captada es completamente cristalina, con un pH de 7.5, temperatura media de 18°C con muy poca variación, siempre con oxígeno disuelto entre 3.5 y 6.0 ppm, llegando en una ocasión a 8.8 ppm.

Los resultados de los análisis químicos se anotan en la tabla 11. Se observa que la alcalinidad es muy baja, 316 ppm, en comparación con la muestra 4,613 ppm, en cambio la dureza es casi el doble,

400 y 179 ppm. En cuanto al Cl, NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub>, los valores son menores que en el agua de donde proviene.

El nitrógeno orgánico es extremadamente mayor, pues de 6.3 ppm de las aguas negras empleadas en riego se registran en esta muestra 650 ppm; quizá este aumento se deba a la contaminación con materia fecal animal a que está expuesta esta muestra. Con los sólidos sucede lo contrario, son menores en casi un 90 por ciento.

La DQO representa menos del 10 por ciento que la original. Sucede también una disminución notable con el ABS.

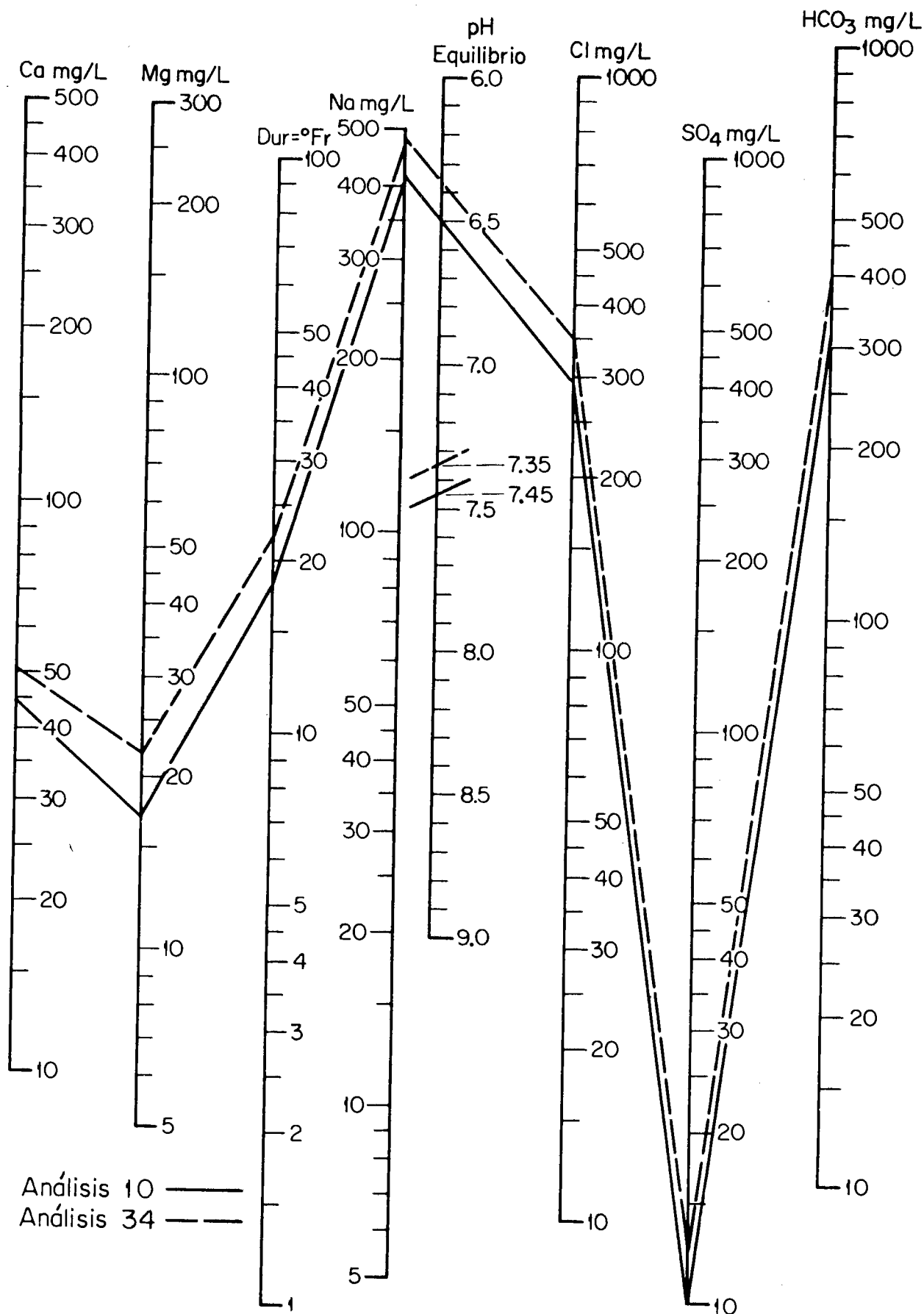


Fig. 34 Representación de los análisis 10 y 34 de la muestra

La única determinación de DBO indica 31 mg/lit, contra 133 mg/lit para las aguas negras en el mismo muestreo.

Finalmente, el  $\text{CO}_2$  se puede considerar del mismo orden que en las aguas negras.

Los exámenes bacteriológicos indican una muy baja contaminación tanto de *escherichia coli* como de *streptococcus faecalis* según quedó asentado en el capítulo 7.1

### 8.3 Peces en el modelo

Aprovechando la presencia prolongada de oxígeno disuelto en el modelo y en proporciones mayores a las necesidades mínimas de los peces, se creyó conveniente iniciar pruebas con la vida acuática mayor, para experimentar procesos de autodepuración más eficaces y obtener al mismo tiempo un nuevo recurso alimenticio en esa región.



Filtración de aguas negras como a 500 m del último sitio de riego

Con tal objeto, se dejaron en el modelo, el día 10 de agosto, seis peces de unos 3 a 5 cm de longitud pertenecientes al género *platy semifaciete*. En una pecera con agua limpia se dejaron tres peces del mismo género con fines comparativos.

Aparentemente los peces del modelo no mostraron incomodidad alguna durante el poco tiempo que se pudieron observar. De los peces que se dejaron con fines comparativos, murió uno, yéndose al fondo.

En el muestreo del día 17 de agosto no hubo oxígeno disuelto en el modelo, indicio evidente de que los peces ya habían muerto quizá unos tres o cuatro días antes.

Se estima que la ausencia de oxígeno disuelto se haya debido a la carga orgánica adicional de los peces al morir, y no que éstos sufrieran las consecuencias de la disminución, ya que posteriormente volvió a detectarse oxígeno disuelto con valores mayores que los de saturación.

### 8.4 Vaso de almacenamiento de aguas negras

Los datos que se obtuvieron de los análisis en el modelo permiten conocer el probable comportamiento de un vaso en el que se almacenen aguas

negras, sobrentendiéndose que éstas incluyen las aguas pluviales recolectadas por el mismo sistema de alcantarillado.

Para tal fin se ha escogido el vaso de la presa Requena, cuyo funcionamiento se halla en el plano CH-D-9-231 de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México.

Para efectos de autodepuración de las aguas, se espera que el vaso se comporte como una laguna facultativa con una zona aerobia en la parte superior y una zona anaerobia en la parte central; se estima que la zona del fondo funcionaría a semejanza de un tanque Imhoff que haría la transformación de los lodos sedimentados.

Estas suposiciones fueron corroboradas por los resultados de la investigación que sobre lagunas de estabilización se lleva a cabo en este Instituto, habiéndose modificado en algunas ocasiones el funcionamiento de los modelos para aprovecharlos como auxiliares de este estudio.

Las condiciones medias del vaso serán:

|                     |         |
|---------------------|---------|
| Area                | 550 ha  |
| Tirante             | 15 m    |
| Tiempo de retención | 2 meses |

Por las características del agua negra se espera tener una carga orgánica media de 445 kg de DBO/ha/día.

Por comparación con las lagunas de estabilización se estima que la eliminación de DBO será de un 50 a 60 por ciento.

La cantidad de lodos acumulados quizá sea de 0.000592 m<sup>3</sup> de lodos por cada metro cúbico de aguas negras. Según esto, la capacidad de azolve de la presa tardaría en llenarse 60 años y el vaso se azolvería totalmente en 285 años.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En el sitio donde se hizo el estudio, son prolongados los periodos de soleamiento; la energía suministrada por la acción solar es suficiente para el completo desarrollo biológico en el agua.

2. La temperatura del agua con respecto a la ambiental no presenta grandes diferencias; tampoco es grande la variación de la temperatura ambiental durante el año; por lo tanto, no se presentarán volcamientos del agua almacenada en el vaso que pudieran poner en peligro el proceso de autodepuración.

3. El almacenamiento prolongado hace cambiar las condiciones químicas del agua negra, pero en los nueve meses de observación, no llegaron a ser desechables para su empleo agrícola.

4. Debido al almacenamiento, las aguas negras se mejoran bacteriológicamente sin dejar de considerarse peligrosas.

5. Por los resultados de los estudios realizados, se puede concluir que sí es posible almacenar aguas negras en grandes volúmenes para riego, sin el peligro de que se presenten condiciones sépticas ofensivas en gran magnitud, siempre que se satis-

fagan las siguientes condiciones de diseño y operación:

- a) Que el vaso trabaje realmente como una laguna de estabilización de baja eficiencia, posiblemente de 30 a 50 por ciento, lo cual se lograría si las extracciones para riego no se llevaran la masa de agua que contiene algas y microorganismos purificadores; para esto será necesario hacer el diseño de la obra de toma en tal forma, que las extracciones se hagan siempre a 2 m bajo el nivel de la superficie libre del agua. De ser posi-
- ble, la obra de demasías debe llenar también esa condición, pudiéndose hacer a base de sifones.
- b) Que las primeras aguas negras que se viertan al vaso, lleguen cuando éste contenga agua de escurrimiento pluvial, para evitar las condiciones sépticas que se manifiestan por la presencia de algas azul-verde.
- c) La entrada y salida tendrá que ser múltiple para evitar en lo posible algún corto circuito, que a su vez impediría la película biológica superficial adecuada.

