

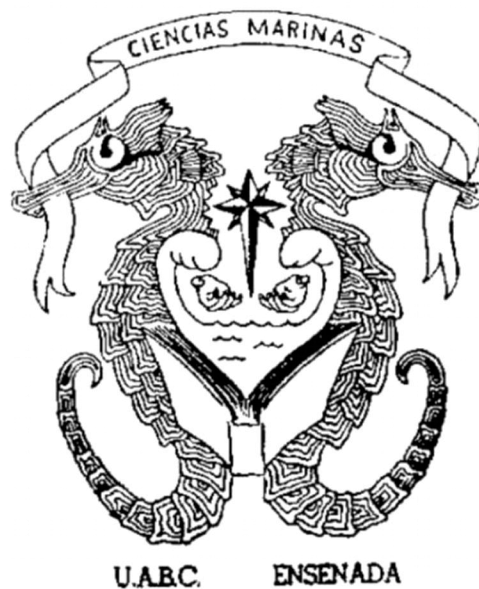
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE

BAJA CALIFORNIA

Escuela Superior de Ciencias Marinas



**Diseño de una planta de tratamiento
por eutroficación controlada para
aguas residuales y bioensayos
preliminares.**



TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de

OCEANOLOGO

Jaime Pedro Domínguez Malagón

Ensenada, Baja California 1976.

DEDICATORIA

Por su integridad moral y constancia, a mi Padre.

Por su fé y dinamismo inquebrantables, a mi Madre.

Por su amor y valentía, a Roxana.

INDICE

DEDICATORIA	i
RESUMEN	ii
INTRODUCCION GENERAL	1
BIOENSAYOS	
Introducción	13
Materiales y Métodos	15
Medios de cultivo	22
Inóculos	25
Comparación del crecimiento	30
Resultados y Discusión	42
Conclusiones	57
PROYECTO	
Introducción	60
Diseño del Sistema	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES	85
BIBLIOGRAFIA	89
AGRADECIMIENTOS.....	98

RESUMEN

El trabajo trata básicamente sobre la purificación de las aguas de albañal utilizando microalgas estuarinas como base de la cadena alimenticia formada por herbívoros, detritófagos, carnívoros y macroalgas.

Se pone en evidencia la magnitud y características de la contaminación orgánica en la Bahía de Todos Santos, planteando la solución a través del uso de tratamiento biológico, utilizando las características fisiológicas de las especies marinas auto y heterotróficas de la localidad.

En base a los resultados de los bioensayos, los antecedentes, a las características fisico-químicas y meteorológicas y los volúmenes de aguas residuales descargadas, se diseña un sistema de módulos múltiples capaz de ser ampliado de acuerdo al nivel creciente de las descargas.

Se encuentra que la mezcla de especies fitoplanktónicas cultivadas en agua de albañal y de mar, presentan incrementos de concentración mayores que en los usados como control. Las especies son capaces de eliminar todo el nitrógeno disuelto en la mezcla nutritiva en sus diferentes formas, así como un alto porcentaje del fósforo y otros nutrientes fotosintéticos.

INTRODUCCION GENERAL

La Bahía de Todos Santos, Baja California, se localiza geográficamente entre los $31^{\circ}45'$ - $31^{\circ}55'$ lat. N y los $116^{\circ}37'$ - $116^{\circ}45'$ long. W.

Los vientos predominantes durante 8 meses provienen del NW y soplan con velocidad promedio de 8 nudos, los vientos secundarios provienen del W y tienen velocidades variables. También se presentan brisas adiabáticas locales de periodicidad diurna con dirección E y W.

Las corrientes superficiales a lo largo de la costa son influenciadas por los vientos, el tren de olas y la fase de marea; predominando las del W en Punta San Miguel y El Sauzal, las del W y NE en Punta Morro y la Rada del Puerto. (Fig. 1; Secretaría de Marina, 1974).

Las corrientes que se presentan dentro de la rada del puerto con viento del W y reflujo de marea (Fig.2), indican un desplazamiento de las aguas superficiales hacia el SW, donde se encuentran la Playa Municipal y Playa Hermosa. Las corrientes que se presentan dentro de la rada con viento del S y en flujo de marea (Fig.3) indican un desplazamiento de las aguas superficiales hacia el NW, donde se advierte un giro en contra de las manecillas del reloj. (Secretaría de Marina, 1974).

Las principales poblaciones ribereñas son la Ciudad de Ensenada (127,724 Hab.) y El Sauzal de Rodríguez (5,739 Hab.) ambas tienen como actividad básica la pesca y el procesamiento de sus productos. (Secretaría de Marina, 1974).

Del total de industrias procesadoras, 11 empresas vierten sus aguas residuales hacia la bahía en 3 localidades;

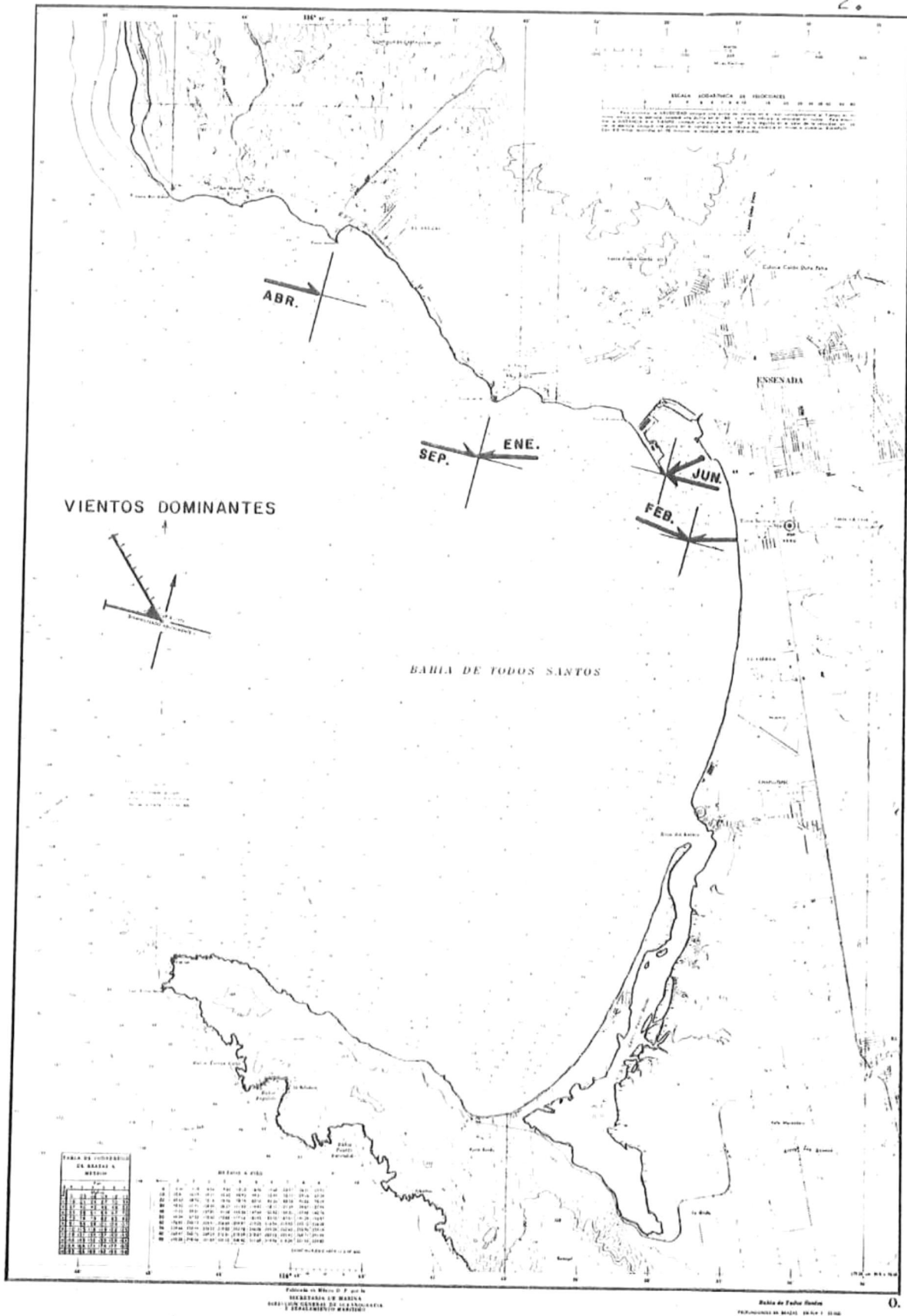


FIG. I Vientos y corrientes superficiales en la Bahía de Todos Santos.

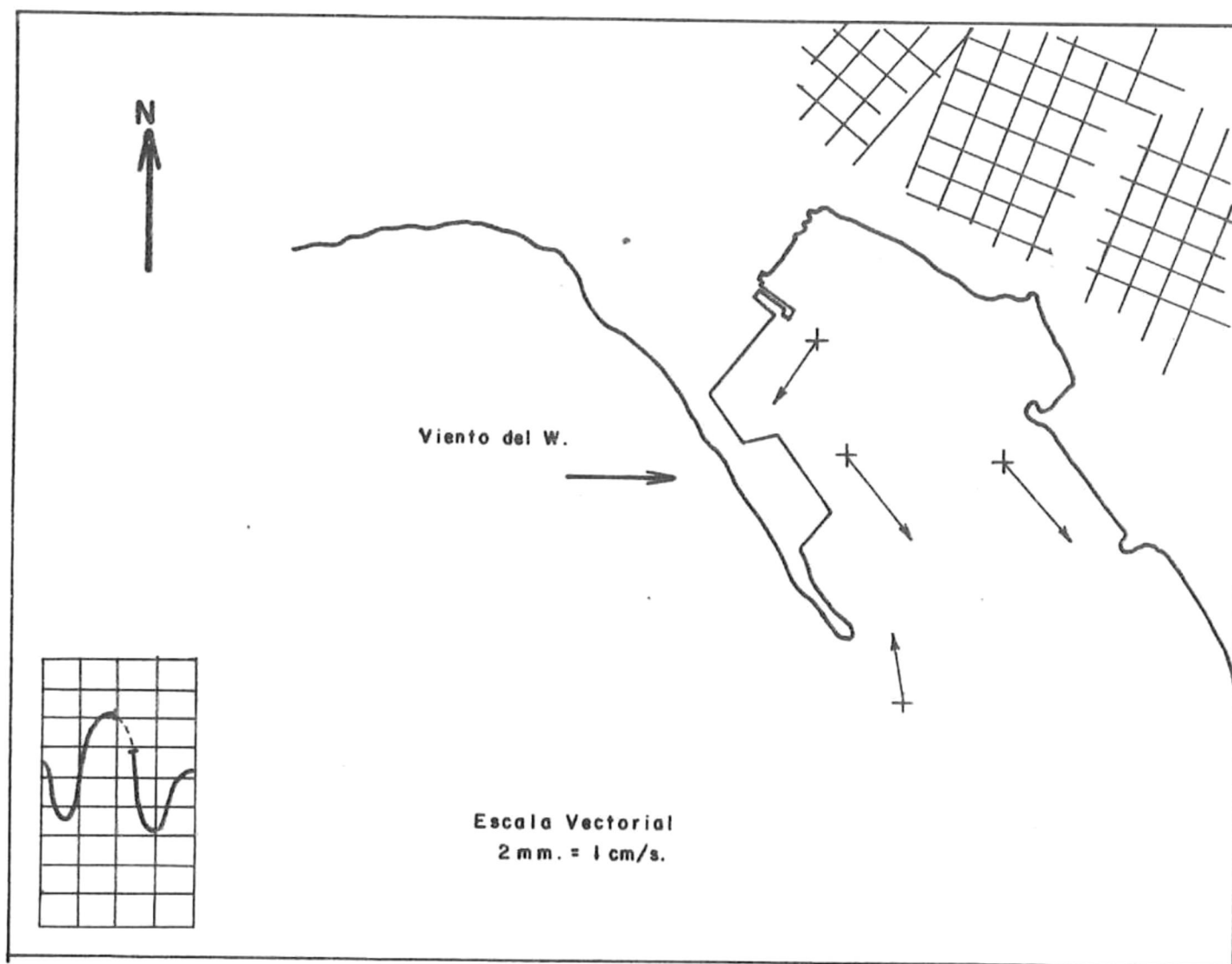


FIG. 2 Corrientes en la rada del puerto de Ensenada B.C., en reflujo de marea y viento del Oeste, segun Secretaria de Marina, (1974).

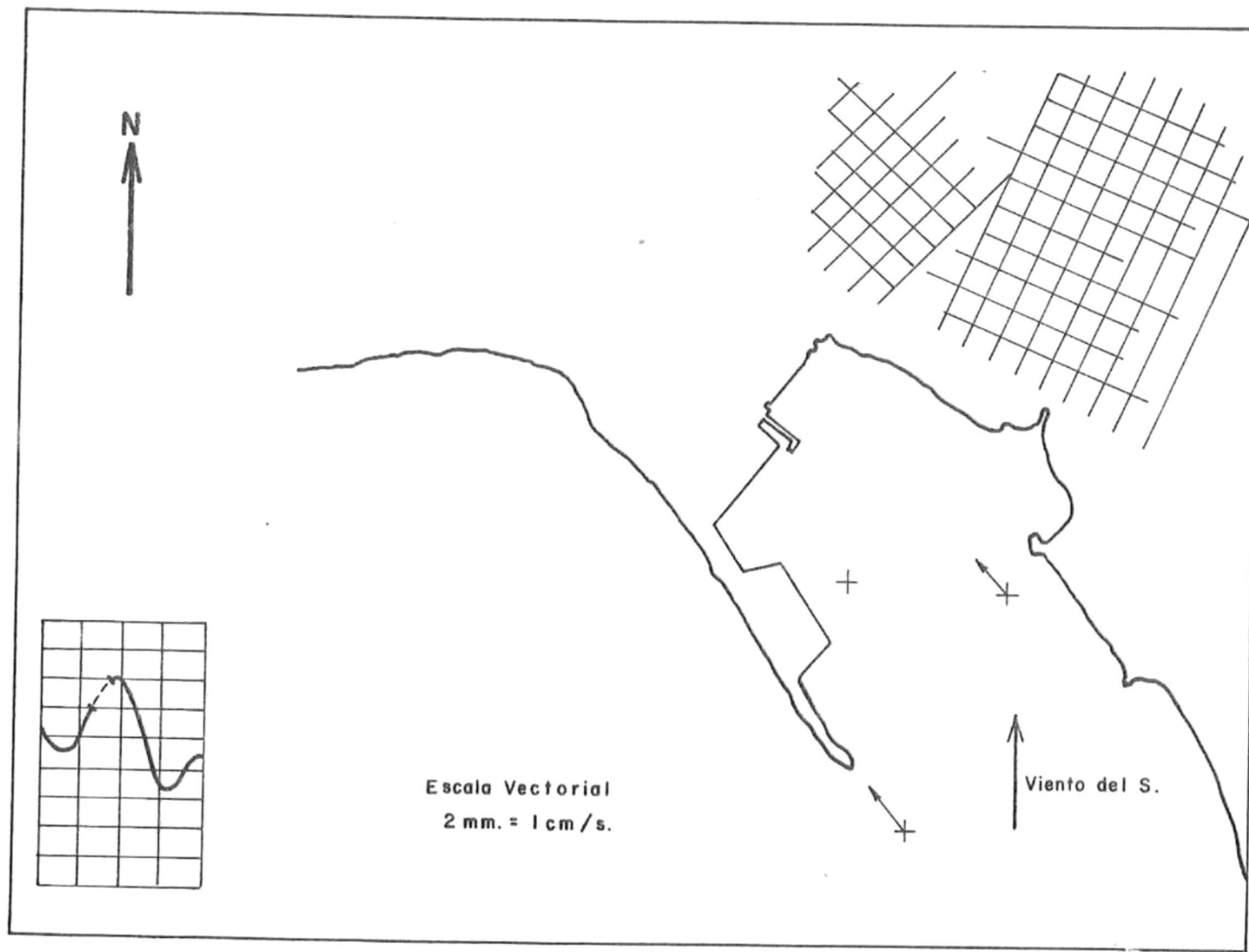


FIG. 3 Corrientes en la rada del puerto de Ensenada B.C., en flujo de marea y viento del Sur, según Secretaria de Marina, (1974).

(Fig.4) El Sauzal (zona I), la parte externa del rompeolas (zona III), dentro de la rada (zona IV) y el Arrollo del Gallo (zona V).

Las aguas de albañal producidas por las dos poblaciones son descargadas hacia la bahía en las zonas I, II y V.

El volumen total de los desechos (sin incluir a la pesquera Zapata, de funcionamiento reciente) descargados hacia el mar en forma continua y a lo largo de un periodo medio de 10 meses, asciende a 22,847 m³/día. (Dominguez-Malagón, datos no publicados).

Los valores máximos para bacterias Coliformes (NMP/100 ml) detectados en las cinco zonas muestreadas (Tab.1), indican que en la zona I los valores son 16 veces mayores que los permitidos por el reglamento para la prevención de la contaminación de las aguas (10⁴/100 ml), en concordancia con los valores permisibles para el estado de California (SCCWRP, 1973), que se refieren a las aguas de uso recreativo e industrial. En la zona II los valores son 10 veces mayores, en la zona III son 360 veces mayores, en la zona IV son 760 veces mayores y en la zona V son 24,000 veces mayores.

Por su caracter orgánico ña suma de las descargas en la rada del puerto, ha producido un fondo abiótico (Lizárraga-Partida, 1973-1974) y es capaz de reducir la diversidad de las especies y el Oxígeno disuelto, de aumentar el contenido de nutrientes Fotosintéticos (Nitratos, NO_3^- ; Nitritos, NO_2^- ; Fosfatos, PO_4^- ; Sulfatos, SO_3^- etc.), (Platt, 1970), la biomasa fitoplanktónica disponible como alimento para las redes tróficas, es capaz de causar la presencia de sedimentos reducidos de alto contenido orgánicos y Acido Sulhídrico (H_2S) e introducir detergentes y dispersantes sintéticos industriales no degradables (PCB) (Hunter y Heukelekian, 1963);

TABLA 1

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS POR LAS PLANTAS PROCESADORAS DE PRODUCTOS MARINOS EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS

NOMBRE	LOCALIDAD DESCARGA	ESTACION- (ES)	VOLUMEN (m ³ /DIA)	FRECUENCIA (MESES)	COLIFORMES NMP/100ml/10 ⁴ *
Pesquera del Pacifico	El Sauzal	1-4	7200	12	16.0 3.5 7.0 9.2
Productos de Ensenada Conservas del Pacifico Empacadora Mar	Arroyo el Gallo	12	5760 100 53	8 12 10	5400.0
Empacadora Peninsular (Planta Reductora)	Arroyo el Gallo	13	2307	9	2.4
Hastro y Colonias populares	Arroyo el Gallo	14	288	12	24000.0
Suma de las Empacadoras	Arroyo el Gallo (desembocadura)	15	335.6	12	16,000.0
Cocedora de Langosta	Rada	6	10.0	12	400.0
Empacadora Galicia			150.0	12	
Pesquera Peninsular	Rompeolas	9	5760.0	12	360

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE ALBAÑAL PRODUCIDAS POR LA CIUDAD DE ENSENADA

Red Colectora	Valle de Manadero	17	7400	12	900
Descarga Intermitente Tanques Imhoff	Playa Municipal	16	7400	variable	660
Colector Col. Moderna y Nuevo Chapultepec	Playitas	5	884	12	10.0

* El máximo valor permisible para aguas con fines de recreo es 1×10^4 Coliformes/100 ml.
(Datos personales no publicados)

desplazar las poblaciones equilibradas de gran diversidad (Grigg y Kiwala, 1970; Bechtel y Copeland, 1970); de descargar Enterobacterianas y virus patógenos en grandes números (O'Sullivan, 1971; Yoshpe-Furer y Shuval, 1972; Homma, 1973); de disminuir la transparencia de las aguas, producir gran variabilidad en la productividad primaria asociada con crecimiento rápido y declinación de poblaciones fitoplanktónicas, favorecer el crecimiento de organismos indicadores de contaminación orgánica como Poliquetos bentónicos (Capitella capitata) (Wilhelmi, 1916), algas Chlorophyta y Cyanophyta (Cystoseira barbata, Ulva lactuca, Codium sp., etc.)(Golubic, 1969). La sintomática mencionada se presenta en las desembocaduras de las descargas y corresponde a la definición del término Eutroficación según (Olson, 1967; Intl. Sym.on Eutrophication, 1969; Parsons y Takahashi, 1973; Warren, 1971).

La posibilidad de contraer infecciones bacterianas gastro-intestinales por contacto con las aguas en las cercanías de las descargas, se demuestra desde el punto de vista físico con el hecho que la difusión de contaminantes orgánicos vertidos puede alcanzar valores de 25,200 m²/ hora medidos por Zats (1970) con tintas fluorescentes.

La concentración de enterobacterias patógenas detectadas dentro de la rada (Salmonella sp., Shigella sp.); Est.6 (Fig.5); ascienden a 6×10^6 /100 ml. El tiempo de sobrevivencia de Salmonella typhimurium, Escherichia typhosa, E.coli y otros, es mayor de 20 días en agua de mar (Klein, 1905; Giaza, 1889; Soper, 1909; Trawiski, 1929; Beard y Meadowcroft, 1935; Vaccaro et. al.,1950; Won y Ross, 1971: En SCCWRP,1973).

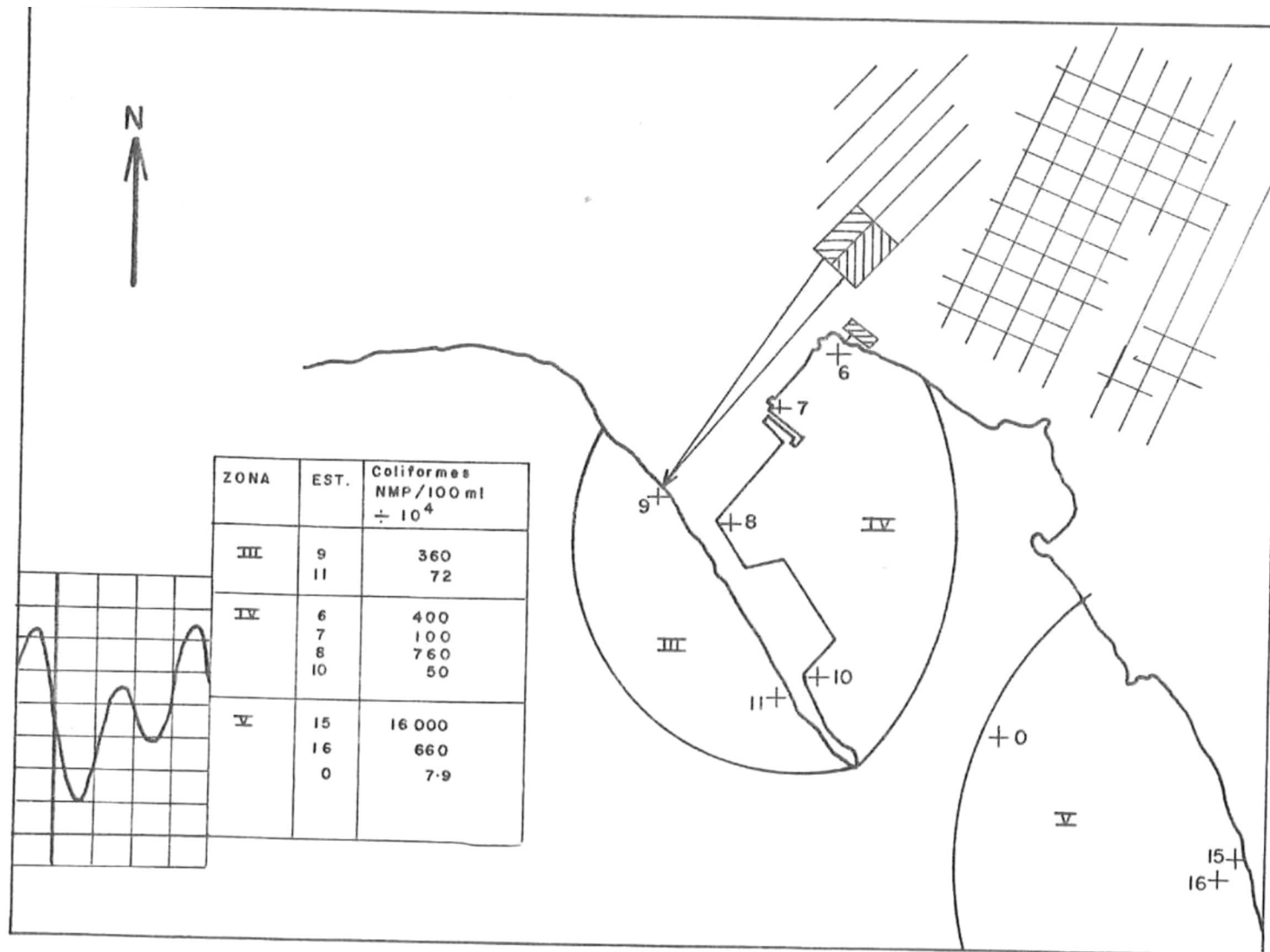


FIG. 5 Estaciones muestreadas en las zonas de descarga de aguas residuales en la rada del puerto de Ensenada B.C. , 30 de Abril, 1976.

La sobrevivencia de Salmonella scholtmueri en tejidos y fluidos de moluscos bivalvos es 15-60 días (Kelly y Acisz, 1954; en SCCWRP, 1973).

Tomando en cuenta los datos de sobrevivencia para bacterias, los casos de enfermedades diarreicas reportados por la Secretaría de Salubridad y Asistencia, y el Instituto Mexicano del Seguro Social durante 1975 (3465 y una tasa de 30-11.4/10⁵ Hab.) y el coeficiente de dispersión en función de las corrientes a lo largo de la costa, se observa claramente la patogénesis de las aguas costeras de la bahía, disminuidas por el hecho que el agua de mar presenta actividades antibacterianas, antivirales y antifungales causadas por el antagonismo entre las microfloras marina y terrestre (Mitchell, 1970; Shuval, 1971).

Desde el punto de vista oceanográfico, el tratamiento primario (eliminación de sólidos sedimentables y grasas) y secundario (desdoblamiento del material orgánico, filtración y desinfección) de las aguas de albañal, no impiden en ningún caso la descarga de las sustancias solubles hacia los cuerpos receptores (Holcomb, 1970), por lo que se hace necesario eliminar los nutrientes disueltos (NO_3^- , NH_4^+ , $\text{PO}_4^{=}$, SiO_3^-) que en concentraciones micromolares son capaces de producir explosiones fitoplanktonicas que aumentan la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el agua de mar hasta valores varias veces mayores que los presentes en las aguas sin tratar, (Ryther et al., 1972; Olson, 1967).

Los experimentos sobre cultivo y productividad de fitoplankton marino bajo condiciones artificiales hechos por (Loosanoff, 1942; Myers y Graham, 1959; Ansell et al., 1963

a y b; Ravena, 1965; Antia y Kalmakoff, 1965; y Simmonds, 1973 han dado luz sobre la posibilidad de usar cultivos masivos de microalgas para extraer sales minerales disueltas en cantidades tan pequeñas que no es posible eliminar por procesos físicos o químicos económicamente rentables (Holcomb, 1970).

Del conocimiento de la rapidez de reproducción, la eficiencia de captación lumínica del fitoplankton y la utilización de volúmenes en lugar de áreas de cultivo, algunos autores (Dunstan y Menzel, 1971; Dunstan y Tenore, 1972; Goldman et al., 1974 a y b; Goldman y Stanley, 1974; Goldman y Ryther, 1975 a; y Goldman y Ryther, 1975 b), han encontrado que el fitoplankton marino es susceptible de cultivarse usando como nutrientes los disueltos en las descargas de tratamiento secundario de aguas de albañal, cuando se mezcla con agua de mar en proporciones adecuadas, obtienen valores de productividad primaria comparables con los de máxima productividad sobre el planeta y la consecuente eliminación del Nitrógeno y Fósforo hasta niveles similares a los del agua de mar usada como solvente.

Tomando en cuenta los halagüeños resultados de los cultivos de fitoplankton, otros autores (Chesnut, 1971; Ryther, 1975 a; Ryther, 1975 b; Ryther et al., 1972; Ryther et al., 1973; WHOI, 1973-1974; Ryther et al., 1975) proponen el uso de las microalgas como base de una cadena alimenticia artificial pasando por herbívoros, detritófagos y carnívoros primarios. Otros autores proponen el uso de los tanques de estabilización dentro de las plantas de tratamiento para cultivar peces dulceacuicolas (Slack, 1974; Teoh, 1974; y Chan, 1974),

con la desventaja de estratificar funcionalmente el sistema y desaprovechar las propiedades amortiguadoras del pH presentes en el agua de mar.

Para establecer el grado de crecimiento que pueden alcanzar los cultivos de fitoplankton marino en una mezcla de agua de mar con agua de drenaje tratada y sin tratar, se diseñaron bioensayos, usando cepas axénicas de especies fitoplanktónicas estuarinas, cuyo objetivo fué precisar la fase de tratamiento óptima para el crecimiento y seleccionar las especies que presentaran mayor densidad bajo ciertas condiciones meteorológicas (luz, temperatura, etc.) y físico-químicas (S o/oo, pH, Nutrientes, etc.) semejantes a las presentes en la Bahía de Todos Santos.

En base a los resultados de los bioensayos, a la literatura consultada, a los datos físico-químicos y meteorológicos, y los volúmenes de descarga de desechos hacia la bahía, se diseñó un sistema de tratamiento biológico que fuera capaz de solucionar el problema de la Eutroficación por materia orgánica y nutrientes disueltos, eliminar las fuentes patogénicas y producir una biomasa de organismos útiles para consumo humano. Localizandolo en sitio tal que fuera energética y funcionalmente factible de ser construido.

BIOENSAYOS

Introducción.-

En base a los antecedentes acumulados sobre el cultivo de especies fitoplanktónicas bajo condiciones artificiales y tomando en cuenta las características meteorológicas y oceanográficas de la Bahía de Todos Santos, se diseñaron una serie de bioensayos que simularan las condiciones óptimas de luz, temperatura, salinidad y nutrientes, con objeto de obtener resultados particulares que soportaran los cálculos de crecimiento y eficiencia de asimilación de nutrientes inorgánicos presentes en las aguas de tratamiento, diseñando como síntesis un sistema que pudiera asimilar nitratos y nitrógeno amoniacal a concentraciones de 0.22 mg/l y 5.6 mg/l respectivamente (Flores-Muñoz, datos no publicados).

La eficiencia de asimilación de nutrientes (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SO_3^{2-}) y la razón de reproducción desarrollados por cultivos de fitoplankton bajo condiciones al aire libre, usando aguas residuales tratadas por procesos físico-químicos convencionales, mezclados con agua de mar a diversas proporciones ha sido discutido por (Chesnut, 1971; Ryther et al., 1972 y 1973; Mc Shaw et al., 1973; Goldman y Stanley, 1974; Goldman y Ryther, 1975 a; Goldman y Ryther, 1975, b; Dunstan y Menzel, 1971; Dunstan y Tenore, 1972).

La eficiencia de asimilación de nutrientes en un sistema de cultivo con agua de tratamiento y agua de mar, incrementa si la fuente de nitrógeno es NO_3^- , siendo menor si la fuente es NH_4^+ , (Goldman, 1974); alcanzando valores de 21 mg/l para la diatomea Phaeodactylum tricornutum cultivada en una mezcla de agua de tratamiento y agua de mar en proporción

20:80 (V:V), Monochrysis lutherii alcanzó valores de 31.3 mg/l en mezcla de aguas al 50%.

De acuerdo con (Goldman, 1974 a) el Nitrógeno presente en el cultivo es limitante para el crecimiento de fitoplankton y las diatomeas por si son capaces de eliminar el Nitrógeno disponible en la mezcla hasta en 95%.

El Fósforo presente en la mezcla solo se elimina al 45-60% a causa de que la proporción de N/P (átomo/átomo) en el medio de cultivo es 4.9/1 mientras que la proporción en las algas es 8.8/1, lo que resulta en una eliminación incompleta del Fósforo por el faltante de Nitrógeno (3.9) en la proporción de los nutrientes limitantes (Goldman, 1974 b) demuestra que la razón fotosintética en el fitoplankton aumenta cuando se completa el desbalance inicial N/P, agregando Nitrógeno amoniacal.

El uso de algas fitoplanktónicas cultivadas con aguas de tratamiento secundario como alimento para organismos filtroalimentadores como ostiones, almejas y mejillones es discutido por (Chesnut, 1971; Tenore, 1972; Ryther, 1972-1973; WHOI, 1973-1974), proponiendo que el control de la productividad primaria es la base para sostener cultivos de herbívoros, detritófagos y carnívoros útiles para la alimentación humana, evitando al mismo tiempo la Eutroficación provocada de las aguas marinas costeras.

La selección de especies usadas en los bioensayos se hizo en base a dos criterios; las condiciones climatológicas y oceanográficas del sitio donde se planea instalar el cultivo masivo y en base al uso particular que se haga de las microalgas producidas.

Materiales y Métodos.

En el verano de 1975 se cultivaron 5 especies de algas microscópicas fitoplanktónicas durante 15 días (15-29 de Agosto), bajo condiciones controladas de laboratorio (luz, temperatura, salinidad, nutrientes y esterilidad).

Para seleccionar las algas se tomó en consideración que la temperatura superficial en la Bahía de Todos Santos tiene un rango de 5.5°C, con mínimo de 14°C en marzo y máximo de 20°C en agosto, influenciadas por el flujo y reflujo del Estero de Punta Banda; la salinidad representativa tiene un rango de 33.30-34.90 o/oo (Contreras, 1973; en Secretaría de Marina, 1974); la precipitación pluvial media durante el año de 1975 medida en Punta Morro fué 0.50 mm y durante los 3 primeros meses de 1976 fue 2.2 mm; la nubosidad durante 1975 fue 54.7% y el promedio mensual fue 15.8 días (comunicación verbal Secretaría de Recursos Hidráulicos oficina meteorológica, 1976); la radiación solar a los 30°N, long. W, varía desde 0.142 g cal/cm²/min (4089 K cal/m²/día) hasta 0.317 g cal/cm²/min. (9129 k cal/m²/día) para diciembre y mayo respectivamente, (Sverdrup et. al., 1942); se seleccionaron las siguientes especies fitoplanktónicas:

Nitzchia (Cilindrotheca) Closterium; T.J. Samayda (Div. Bacillariophyta, fam Nitzchiaceae) (Fig.6).

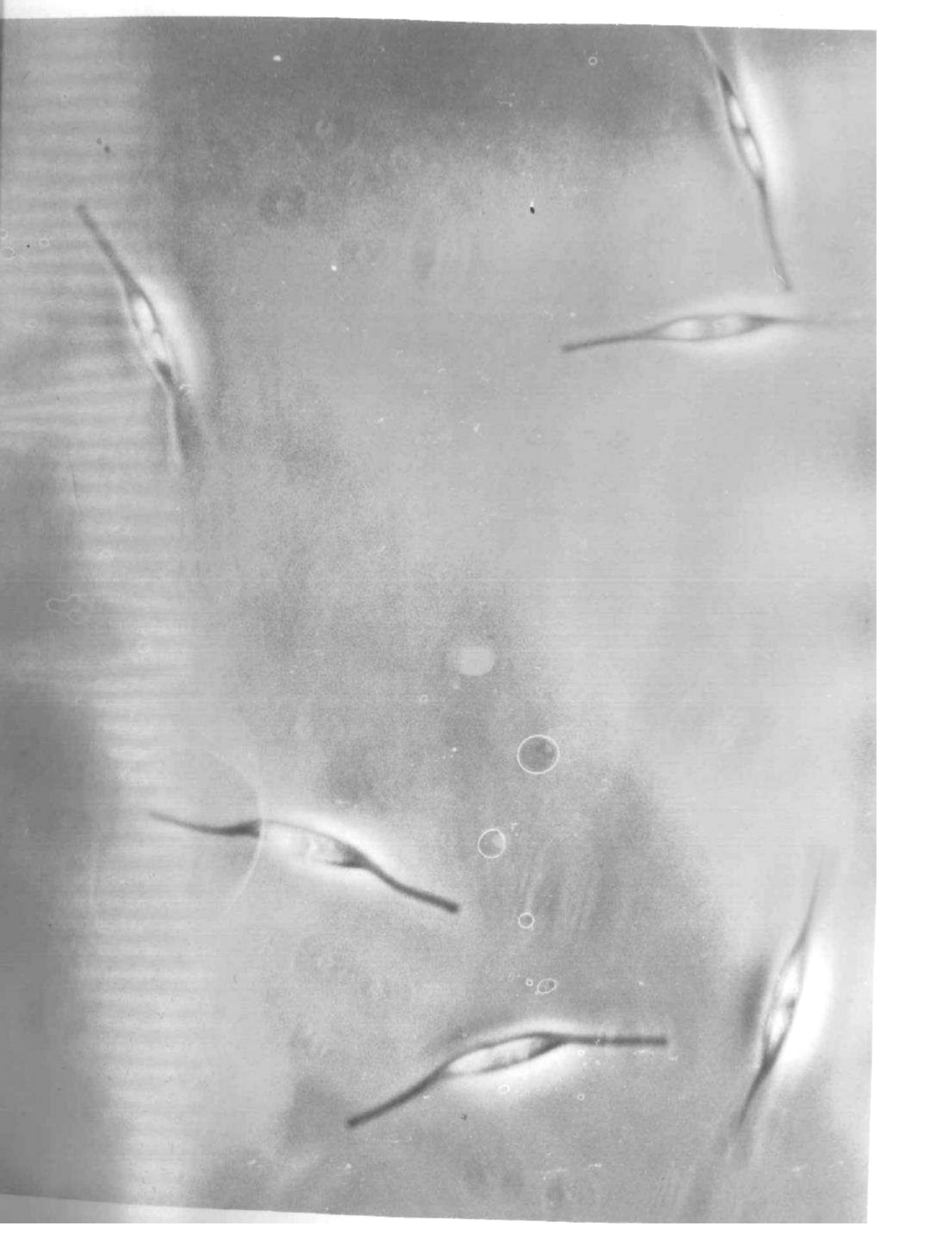
Monochrysis lutherii, M.R. Droop (Div. Chrysophyta, fam. crysocapsaceae) (Fig.7).

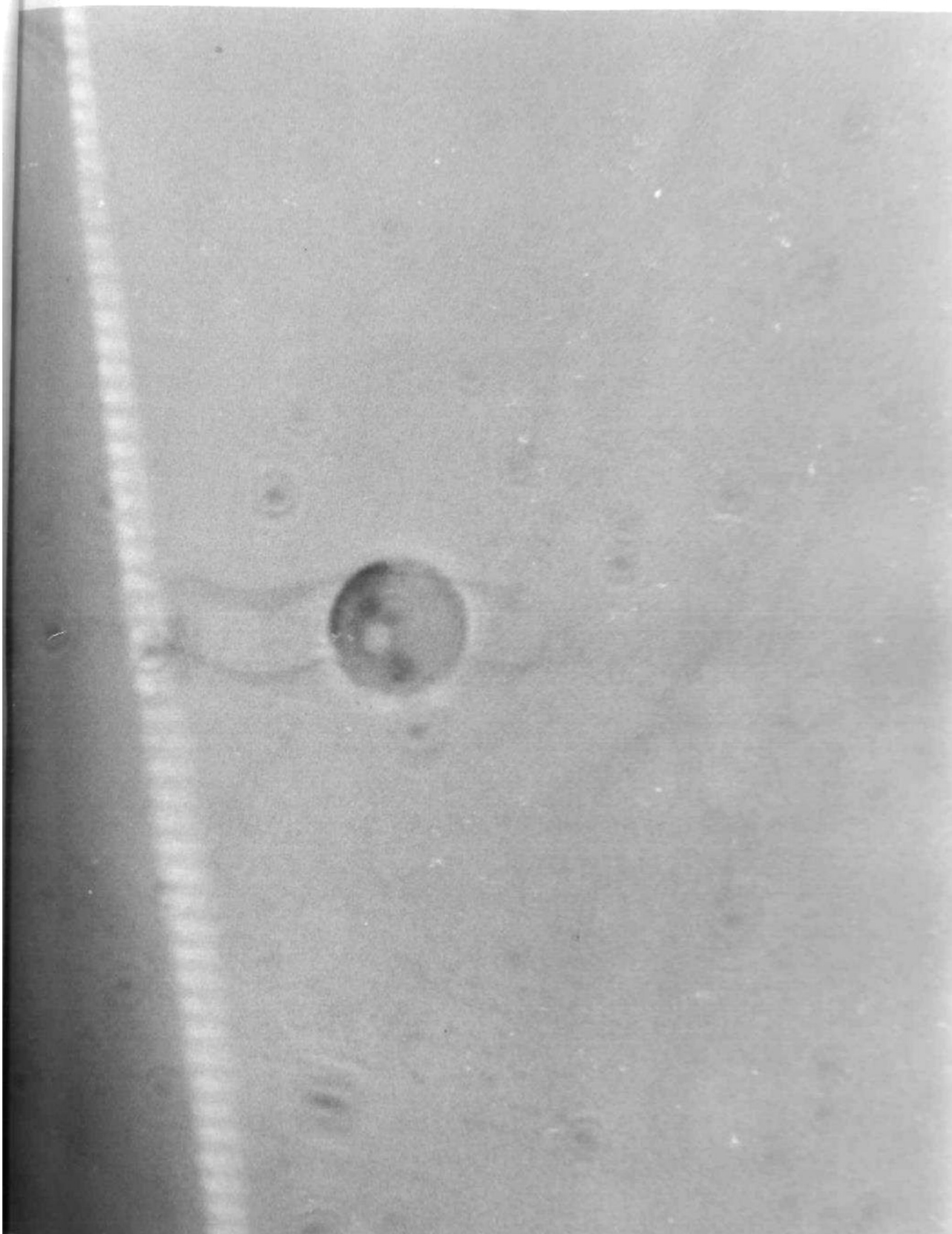
Isochrysis galbana, M.Parke (Div.Chrysophyta, Fam. Isochrysidaceae)(Fig.8).

Chlamydomonas sp., R.W. Eppley (Div. Chlorophyta, fam. Chlamydomonaceae) (Fig.9).

Dunaliella tertiolecta, E. Fjón (Div. Chlorophyta, Fam. Polyplepharidaceae) (Fig.10), según (Silva en Lewin, 1962).

Los Inóculos se obtuvieron en forma axénica de las cèpas originales por cortesía del Food Chain Research Group (FCRG) en Scripps Institution of Oceanography (SIO), en La Jolla, California.





a) Medios de Cultivo.

El medio nutritivo usado como control experimental se obtuvo de acuerdo con la fórmula empleada normalmente para mantener la colección de algas microscópicas del FCRG, (Tab.2).

Los medios experimentales fueron muestreados en diferentes fases del proceso de tratamiento de las aguas de albañal, instalado en Santee, California (Fig.11); se colectaron en botellas esterilizadas y se mantuvieron en la oscuridad durante el tiempo que duró el experimento.

Todos los medios experimentales se filtraron por succión, para eliminar los sólidos suspendidos y bacterias, a través de Celite (tierra de diatomeas), filtros Millipore de 5 y 0.45 μ Esterilizados; el filtrado se almacenó a 0°C en la oscuridad.

Los valores promedio de nutrientes disueltos en los medios experimentales (Tab.3), se obtuvieron de la bitácora de control de análisis de Santee Water Reclamation System.

El agua de mar usada para diluir el agua de tratamiento filtró por succión a través de filtros Millipore de 0.22 μ se colectó en frascos esterilizados y se almacenó a 0°C en la oscuridad. La salinidad de las mezclas se ajustó al 90% del valor para el agua colectada a 4 Km. mar afuera del muelle de SIO.

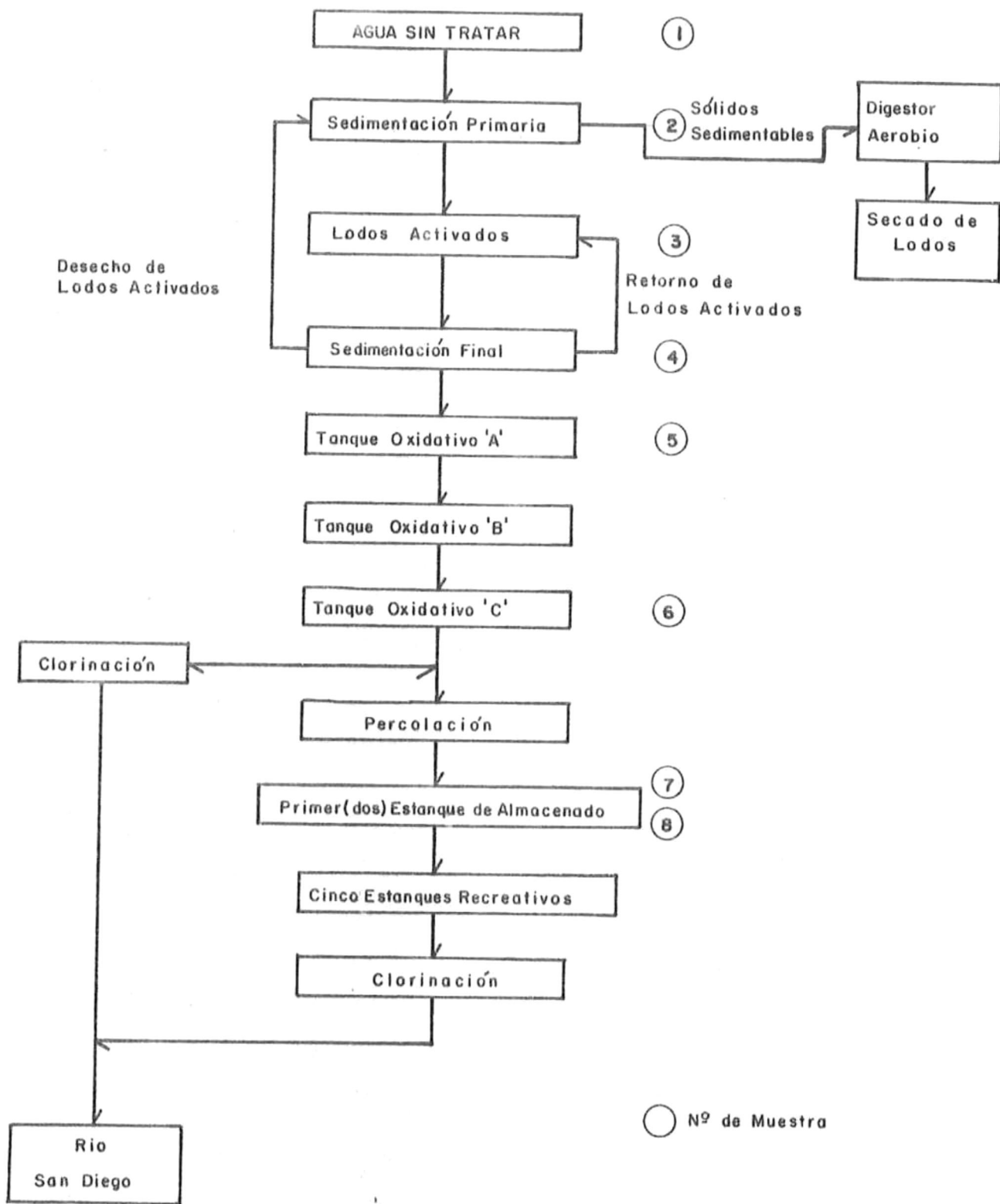


FIG. II Muestreo y diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas de albañal, en Santee California.

TABLA 2

NO ₃ mgN/l	PO ₄ mgP/l	SiO ₃ mgSi/l	Metales traza	EDTA mg/l	Vit. B-12 mg/l	Biofina mg/l	Tiamina mg/l	Amortiguador TRIS mg/l
0.5	0.05	0.25	ZnSO ₄ CuSO ₄ FeCl MnSO ₄ Na ₂ MoO ₄	0.5	1x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻³	2 x 10 ⁻⁴

Fórmula usada para la colección de algas del FCRG en SIO.

TABLA 3

Año	NO ₃ mgN/l	Orto Fosfatos mg/l	PO ₄ total mgP/l	SO ₄ mgS/l	NH ₃ mg/l	Nit.total mg/l	Fase de trata- miento.
1969	0.20	48.98	29.82	-----	22.4	-----	agua sin tratar
1973	0.57	-----	19.87	175.5	-----	-----	laguna almacén número 7
1974	1.45	-----	14.87	134.8	-----	-----	descarga Río San Diego
1975	-----	-----	2.20	200.6	-----	16.61	laguna almacén número 7

Valores de nutrientes disueltos en el sistema de tratamiento de Santee, California.

b) Inóculos.

La concentración de las cepas originales se midió con un Hematocitómetro Spencer A0-"Bright line" de 1/10 mm (prof.) de acuerdo al conteo de celdas en la forma expresada por la ecuación.

$$C = N_t / N \times 10^4$$

C = concentración (cel/ml)
 N_t = número de células en N cuadros
 N = número de cuadros contados.

Los inóculos se estandarizaron a 2×10^4 cel/ml, tomando los volúmenes equivalentes calculados de la concentración de las cepas originales y transfiriéndolos a los medios de cultivo bajo condiciones estériles. El volumen de cada inóculo se completó a 50 ml. con una mezcla de agua de tratamiento y agua de mar en proporción 10:90, (V:V). Nitzschia closterium y Chlamydomonas sp. se inocularon con 1/3 del volumen usado en las otras especies.

Los cultivos estériles se mantuvieron a 20°C sin aereación durante todo el período, bajo condiciones de iluminación constantes, bajo 4 lámparas fluorescentes "Cool White" de 400 W (General Electric) que dan una iluminancia de 600 foot candle (6400 lux) a una distancia de 0.80 m, sobre una mesa blanca bajo la fuente.

El fotoperíodo fue 24 horas de luz/0 horas de oscuridad, a lo largo de todo el período experimental.

Para comprobar que el crecimiento de los Inóculos no era inhibido por la presencia de una mezcla de algas, se preparó un frasco de cultivo que contenía concentraciones equivalentes de algas similares a las inoculadas en los medios nutritivos 1, 3, 5, 7 y control.

Para comprobar la esterilidad de los medios de cultivo, se usó el medio primario de Carlucci, cuya composición se muestra en la (Tab.4), inoculando con alíquotas de 5 ml para cada medio de cultivo en revisión.

TABLA 4

Medio Primario de Carlucci

Agar	7.5 g
Peptona	2.5 g
Extracto de Levadura	0.05g
Fosfato Férrico	1 cristal
Agua de mar	500 ml

El pH de los medios de cultivo se midió con un Radiómetro Copenhague tipo TTT 1-C con titulador y se ajustó a 8.0 con trisma base en solución de agua de mar, reinoculando todos los medios y colocándolos bajo las mismas condiciones originales.

Para comprobar si el crecimiento obtenido con ajuste de pH con trisma base (Hidroximetilaminoetano) no era un artefacto causado por el reactivo, se ajustó el pH del medio número 2 usando NaOH, KOH y Ca(OH)_2 , hasta obtener un pH de 8.0 .

TABLA 5
Bases Usadas Para Ajuste de pH

Nizchia closterium	NaOH(5mM) en agua de mar 90%
Monochrysis lutherii	NaOH(5mM) " " "
Chlamydomonas sp.	Ca(OH) ₂ (5mM) " " "
* Dunaliella tertiolecta	Ca(OH) ₂ y KOH (5mM) " "
Isochrysis galbana	KOH(5mM) " "

* Se probaron dos tipos de bases por los conteos bajos obtenidos originalmente.

Los conteos obtenidos con Hemticitómetro se comprobaron con un contador de partículas Coulter modelo TA-II, fijando los parámetros de acuerdo con la (Tab.6).

TABLA 6
Parámetros usados en el contador Coulter TA-II.

Tamaño de partícula	>3.17 - <40.3 μ
Orificio de entrada	100 μ
Conteo total	00000.00 cifras significativas.
Canales activos	12-5 (3.17-40.3 μ)
Volumen muestreado	0.5 ml
Corriente en orificio	+
Abertura coincidente	4-20 k
Canal	5
Rango de calibración	4-5

Todas las mediciones al inicio de una serie, se corrigieron en base al conteo de partículas de campo (en electrolito), usando para ello agua de mar al 100% filtrada a 0.22 μ que sirvió para diluir las alicuotas de las cultivos después de fijarlos con formalina al 1% amortiguada con Borato de Sodio.

La concentración inicial de cel/ml se muestrea en la (Tab. 7) y se advierten variaciones en los valores obtenidos con el contador Coulter y Hematocitómetro, escogiendo el primero por su mayor reproductibilidad en los conteos y rapidez en el manejo y preparación de muestrass. Cada valor se corrigió por la dilución específica usada para cada muestreo y volumen de muestra seleccionado en el contador de partículas.

ESPECIE INOCULADA	V. INICIAL (ml.)	HEMATOCITOM. (cel/ml)	COULTER (cel/ml)
⊕ N. closterium	4.16	8.0×10^7	8.2×10^4
M. lutherii	1.15	8.8×10^5	3.6×10^4
I. galbana	0.92	1.08×10^6	1.0×10^6
⊕ Chlamydo. sp.	4.44	7.5×10^4	4.3×10^4
D. tertiolecta	0.53	1.78×10^6	6.6×10^6
MEZCLA	28.41	—	—

DIA 0

DIA 5

ESPECIE MEDIO	N. clost.	M. lutherii	I. galbana	Chlamy. sp	D. tertiol.	MEZCLA	PREDOMINANCIA (μ)
1	1.18×10^6	9.23×10^5	1.99×10^5	2.38×10^5	4.08×10^5	9.28×10^5	6.35
2	1.11×10^5	7.25×10^4	5.99×10^4	5.45×10^4	2.70×10^4	—	—
3	7.80×10^6	1.25×10^6	9.12×10^5	1.96×10^5	5.15×10^5	2.04×10^6	6.35
4	1.21×10^6	8.59×10^5	2.58×10^5	2.84×10^5	2.88×10^5	—	—
5	1.08×10^6	4.03×10^5	6.50×10^5	3.10×10^5	3.30×10^5	1.65×10^6	6.35
6	1.01×10^6	1.30×10^6	2.86×10^5	2.07×10^5	3.88×10^5	—	—
7	1.17×10^4	4.96×10^4	8.09×10^4	7.35×10^4	1.81×10^4	1.68×10^5	5.04
8	6.27×10^5	2.47×10^5	3.44×10^5	1.09×10^5	3.43×10^4	—	—
C.	1.51×10^5	7.28×10^5	7.51×10^5	2.46×10^5	1.28×10^6	1.74×10^6	5.04

DIA 9

1	1.26×10^6	1.31×10^6	1.62×10^6	3.88×10^5	4.69×10^5	1.62×10^6	
⊛ 2	5.46×10^5	7.05×10^4	6.99×10^4	6.43×10^4	4.71×10^4	—	
3	1.13×10^6	1.71×10^6	3.14×10^6	4.24×10^5	6.64×10^5	2.71×10^6	
4	1.44×10^6	2.59×10^6	2.25×10^6	1.01×10^6	7.91×10^5	—	
5	1.88×10^6	2.19×10^6	3.19×10^6	4.74×10^5	7.58×10^5	2.73×10^6	
6	1.16×10^6	1.38×10^6	1.71×10^6	4.88×10^5	4.28×10^5	—	
7	1.14×10^4	8.44×10^5	4.59×10^4	2.94×10^5	8.47×10^3	1.49×10^6	
8	2.41×10^5	4.41×10^5	4.41×10^5	1.56×10^5	7.08×10^4	—	
C.	1.85×10^6	2.21×10^6	2.09×10^6	5.82×10^5	1.70×10^6	2.50×10^6	

DIA 15

1	1.09×10^6	1.90×10^6	7.75×10^5	2.67×10^5	5.67×10^5	1.78×10^6	
2	1.72×10^6	1.33×10^6	1.48×10^6	2.85×10^5	6.55×10^5	—	
3	1.24×10^6	2.23×10^6	2.65×10^6	2.81×10^5	7.76×10^5	2.87×10^6	
4	1.33×10^6	2.50×10^6	1.03×10^6	3.10×10^5	8.37×10^5	—	
5	9.46×10^5	2.39×10^6	2.75×10^6	3.05×10^5	7.46×10^5	2.87×10^6	
6	5.70×10^5	1.61×10^6	8.92×10^5	2.33×10^5	4.35×10^5	—	
7	1.73×10^4	3.50×10^5	2.57×10^4	1.12×10^5	5.92×10^3	1.90×10^6	
8	2.57×10^5	3.60×10^5	3.77×10^5	7.88×10^4	7.31×10^4	—	
C.	2.18×10^6	2.40×10^6	2.79×10^6	5.16×10^5	2.22×10^6	2.18×10^6	

⊛ — Ajuste de pH (8.0) con Trisma Base, reinoculando con cepas originales.

⊕ — Inóculo = 1/3 del volumen.

TABLA 7 - Concentración (cel/ml) obtenida para las combinaciones, especie-medio de cultivo.

c) Comparación del Crecimiento.

Para establecer una medida comparativa del crecimiento de las especies cultivadas en los medios experimentales y el control, se estableció como patrón cero(0), el obtenido en el medio de control para cada medio y especie cultivadas, dando valores positivo ó negativo si el crecimiento en los medios experimentales era superior ó inferior respectivamente.(Tab.8).

Las gráficas de crecimiento (log cel/ml) a lo largo del tiempo (Figs.12-20) indican unicamente la manera cuantitativa en que se desarrollan las especies, lo cual es útil para conocer la máxima concentración (cel/ml) que alcanzan en un período determinado; mas no indican la rapidez de crecimiento que se presenta en cada combinación especie-medio de cultivo. Para establecer una medida cualitativa del incremento de concentración desarrollada por cada especie en determinado medio de cultivo, se propone el uso de una forma en base a la segunda derivada de la velocidad de crecimiento respecto al tiempo.

$$\frac{d(c)}{dt} \quad dt \quad c = \text{concentración (cel/ml)}.$$

Como los conteos se hicieron en forma periódica y discontinua; asumiendo una función de crecimiento logarítmica continua; se usaron los incrementos obtenidos en 3 períodos muestrados de manera que la expresión para la segunda derivada se convierte para fines de representación en:

$\frac{\Delta C}{\Delta T}$	$C_0 \equiv$ concentración inicial
	$C_i \equiv$ concentración al final de período T
	$C \equiv$ concentración media del período
$\Delta C = C_0 - C_i$	$\Delta T \equiv$ período comprendido

De la transformación de las gráficas de velocidad a aceleración de crecimiento se obtienen las gráficas que permiten establecer relaciones cualitativas para cada especie y medio de cultivo particulares (Figs.20-26), (Tab.9).

TABLA 8

Crecimientos Comparativos Obtenidos en el Bioensayo

Alga Medio	N. clos		M. luth.		I. galb.		Chlamy.		D. tert.		Mezcla		Total		
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	
1	1	2	1	2	0	3	1	2	0	3	0	3	3	15	-12
2	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3	-	-	0	15	-15
3	1	2	1	2	2	1	3	0	3	0	0	3	10	8	+2
4	1	2	3	0	2	1	2	1	0	3	-	-	8	7	+1
5	2	1	2	1	3	0	1	2	0	3	3	0	11	7	+4
6	1	2	1	2	0	3	0	3	0	3	-	-	2	13	-11
7	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0	18	-18
8	1	2	0	3	0	3	1	2	0	3	-	-	2	10	-8
Total	7	17	8	16	7	17	8	16	3	21	3	9	36	93	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	
	-10		-8		-10		-8		-19		-6		-57		

ESPECIE MEDIO	N. closterium			M. lutherii		
	Δ cel/ml/5 días (0-5)	Δ cel/ml/4 días (5-9) †	Δ cel/ml/6 días (9-15)	Δ cel/ml/5 días (0-5)	Δ cel/ml/4 días (5-9) †	Δ cel/ml/6 días (9-15)
1	1.10×10^6	8.04×10^4	-1.72×10^5	8.87×10^5	3.95×10^5	5.80×10^5
† 2	2.90×10^4	4.35×10^5	1.17×10^6	3.62×10^4	-1.98×10^3	1.26×10^6
3	6.97×10^5	3.53×10^5	1.11×10^5	1.22×10^6	4.58×10^5	5.14×10^5
4	1.13×10^6	2.25×10^5	-1.09×10^5	8.23×10^5	1.73×10^6	-9.48×10^4
5	9.99×10^5	8.06×10^5	-9.42×10^5	3.67×10^5	1.79×10^6	1.92×10^5
6	9.29×10^5	1.48×10^5	4.08×10^5	1.26×10^6	7.88×10^4	2.33×10^5
7	-7.09×10^4	-2.25×10^2	5.89×10^3	1.33×10^4	7.99×10^5	-4.99×10^5
8	5.45×10^5	-3.86×10^5	1.59×10^4	2.11×10^5	1.63×10^5	-8.02×10^4
C.	6.90×10^4	1.69×10^6	3.31×10^5	6.91×10^5	1.48×10^6	2.56×10^5
		x				
ESPECIE MEDIO	I. galbana			Chlamydomonas sp.		
1	-8.84×10^5	1.42×10^6	-8.45×10^5	1.95×10^5	1.49×10^5	-1.20×10^5
† 2	-1.02×10^6	9.97×10^3	1.41×10^6	1.14×10^4	9.81×10^3	2.78×10^5
3	-1.71×10^5	2.23×10^6	-4.91×10^5	1.53×10^5	2.27×10^5	-1.43×10^5
4	-8.25×10^5	1.99×10^6	-1.21×10^6	2.41×10^5	7.35×10^5	-7.08×10^5
5	-4.33×10^5	2.53×10^6	-4.31×10^5	2.67×10^5	1.24×10^5	-1.29×10^5
6	-7.97×10^5	1.42×10^6	-8.20×10^5	1.64×10^5	2.81×10^5	-2.54×10^5
7	-1.05×10^6	1.49×10^4	-2.22×10^4	3.04×10^4	2.20×10^5	-1.81×10^5
8	-7.39×10^5	9.66×10^4	-6.34×10^4	6.60×10^4	4.78×10^4	-7.80×10^4
C.	-3.32×10^5	1.34×10^6	6.92×10^5	2.03×10^5	3.35×10^5	-6.57×10^4
ESPECIE MEDIO	D. tertiolecta			MEZCLA		
1	-2.52×10^5	6.05×10^4	9.83×10^4		6.45×10^5	1.56×10^5
† 2	-6.33×10^5	2.01×10^4	5.07×10^5		—	—
3	-1.42×10^5	1.46×10^5	1.06×10^5		6.74×10^5	1.57×10^5
4	-4.32×10^5	5.63×10^5	4.63×10^4		—	—
5	-3.29×10^5	4.27×10^5	-1.22×10^4		1.08×10^6	1.34×10^5
6	-2.72×10^5	4.01×10^4	6.84×10^3		—	—
7	-6.42×10^5	-9.72×10^3	-2.55×10^3		1.32×10^6	4.13×10^5
8	-6.26×10^5	3.64×10^4	2.25×10^3		—	—
C.	6.22×10^5	4.22×10^5	5.18×10^5		7.58×10^5	-3.20×10^5

† - Ajuste de pH, reinoculando con cepas originales.

TABLA 9 - Incrementos de concentración (Δ cel/ml) en tres periodos consecutivos del cultivo.

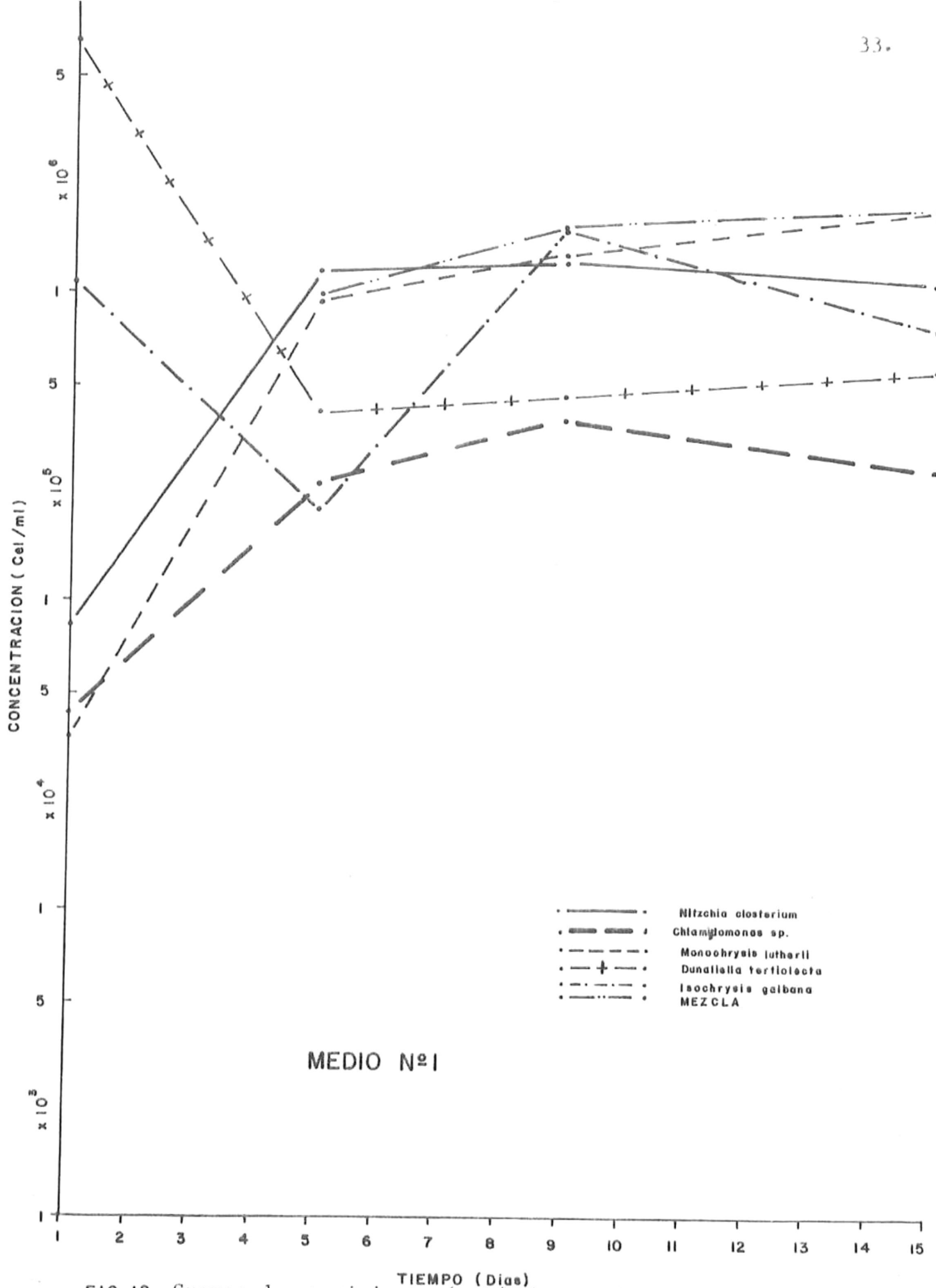


FIG. 12 Curvas de crecimiento (cel/ml) para las especies cultivadas en el medio No 1.

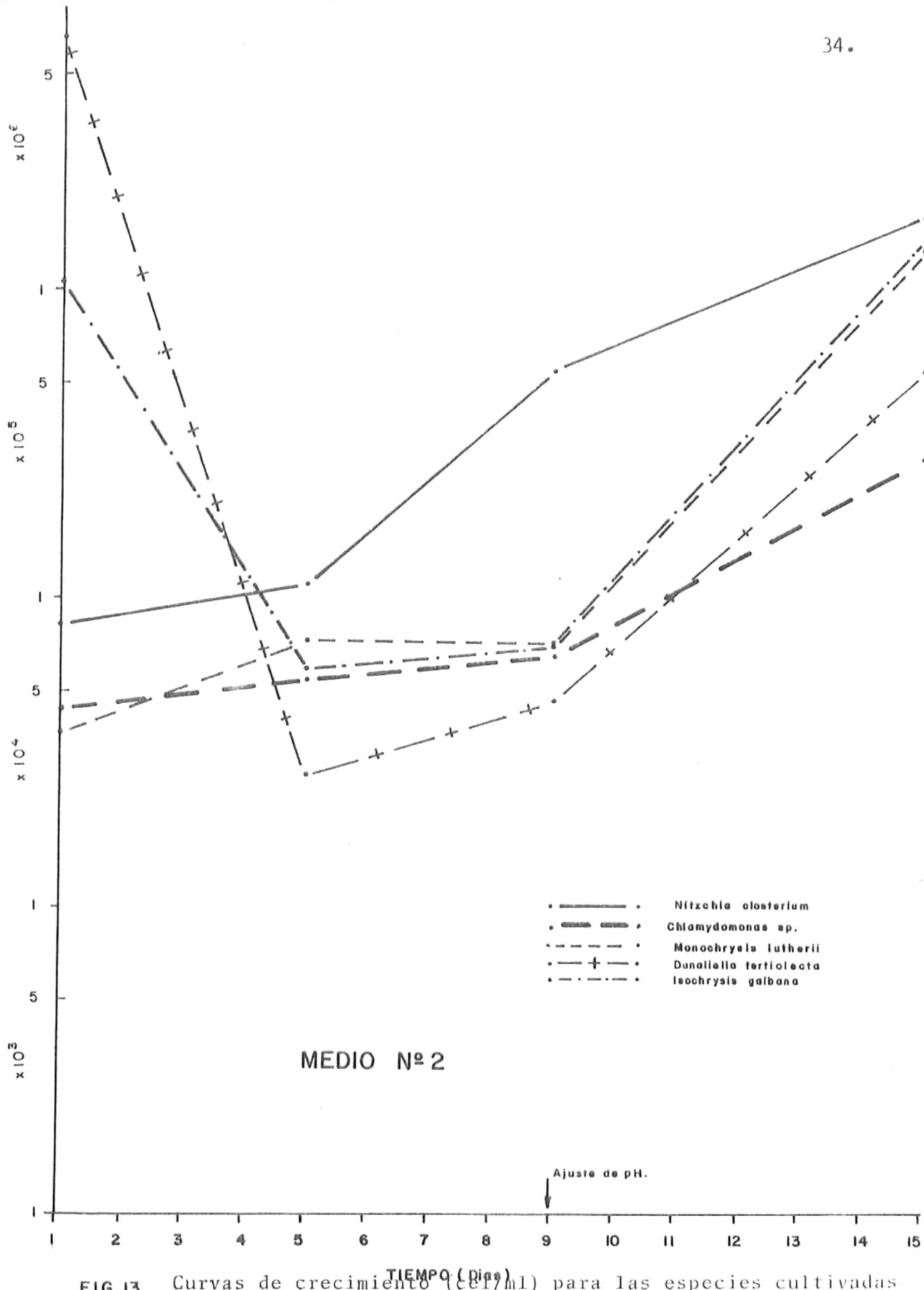


FIG.13

Curvas de crecimiento (cel/ml) para las especies cultivadas en el medio No 2,

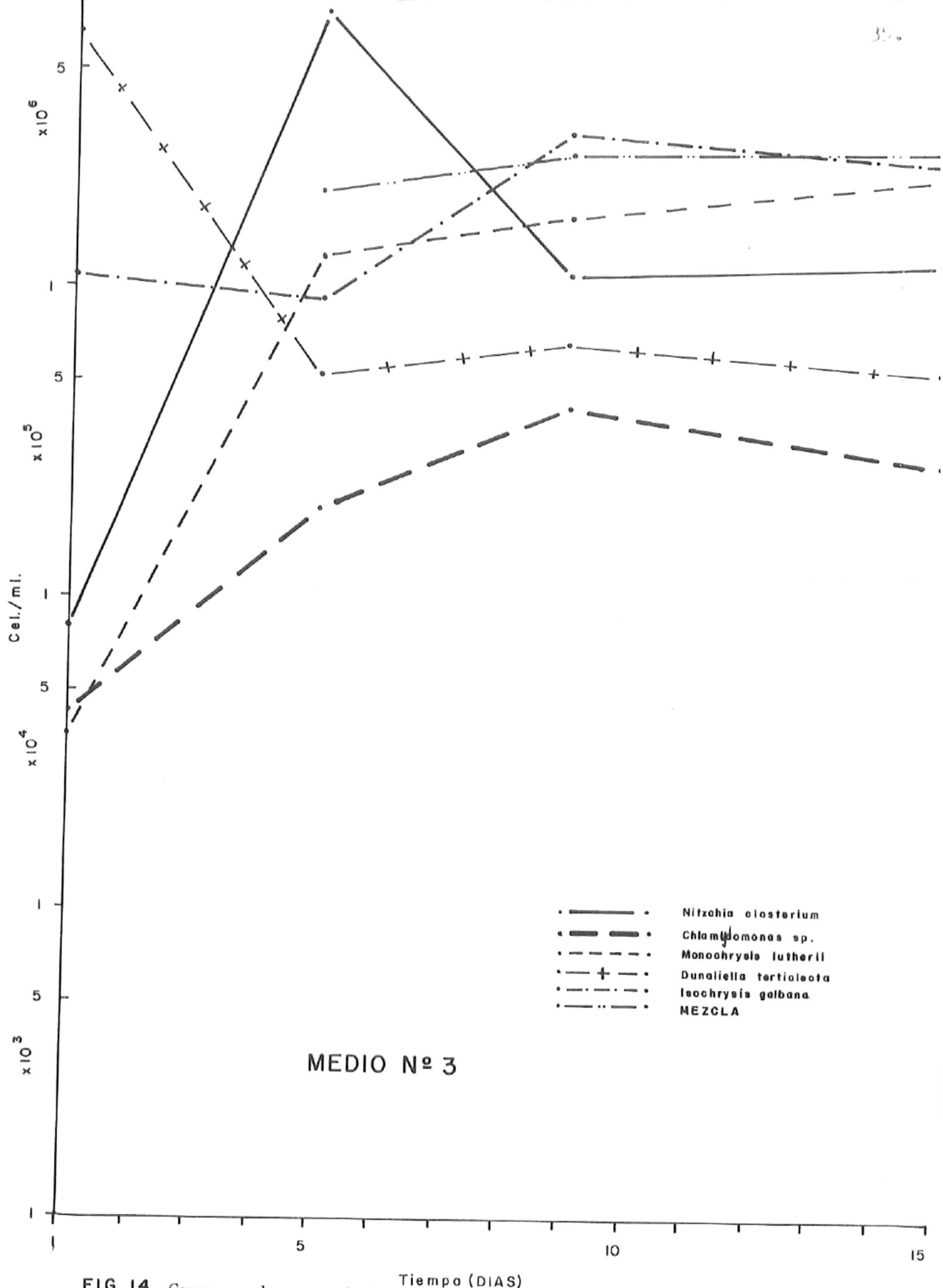


FIG. 14 Curvas de crecimiento (cel/ml) para las especies cultivadas en el medio No 3.

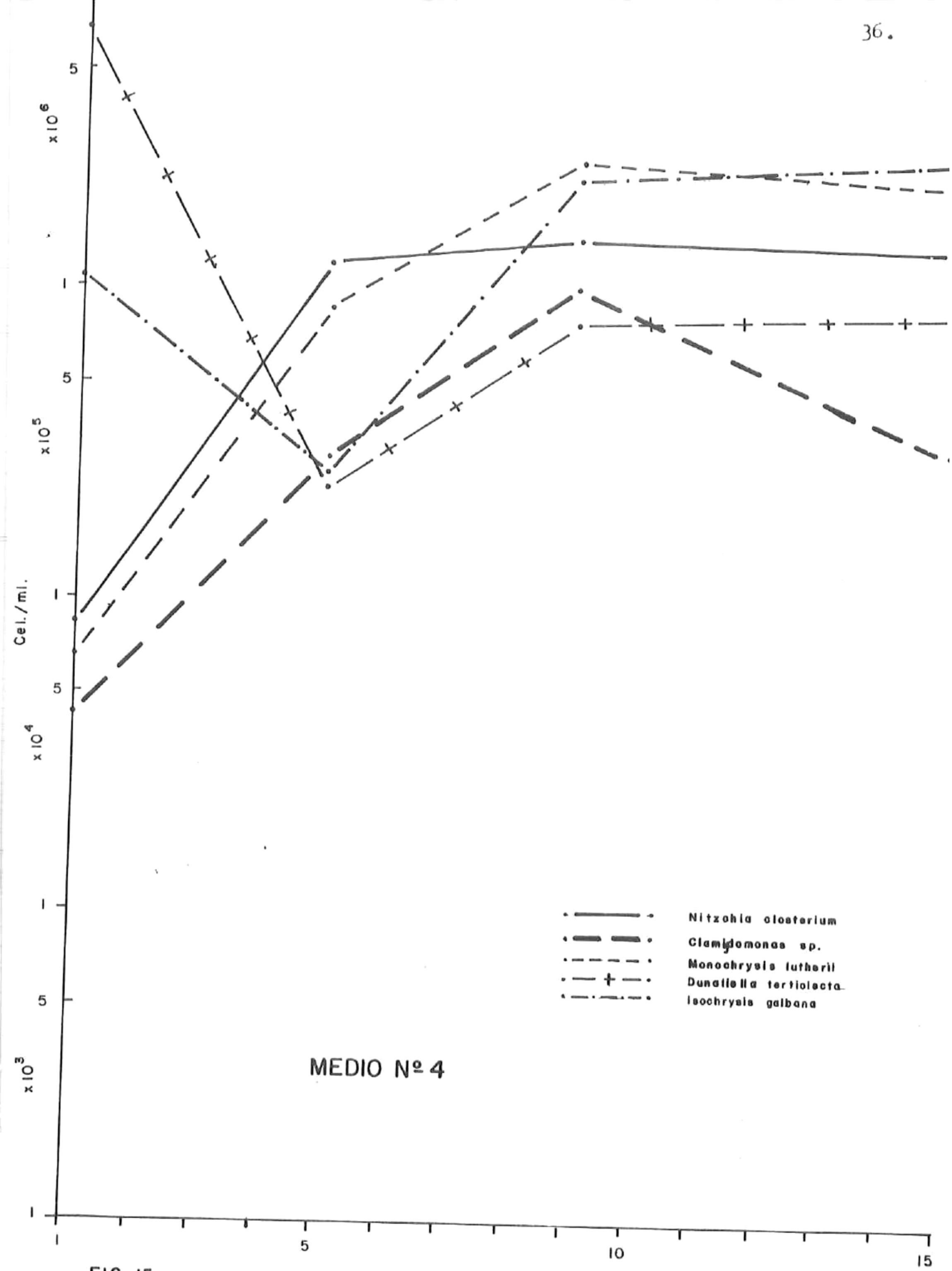


FIG. 15

Curvas de crecimiento (cel/ml) para las especies cultivadas en el medio No 4.

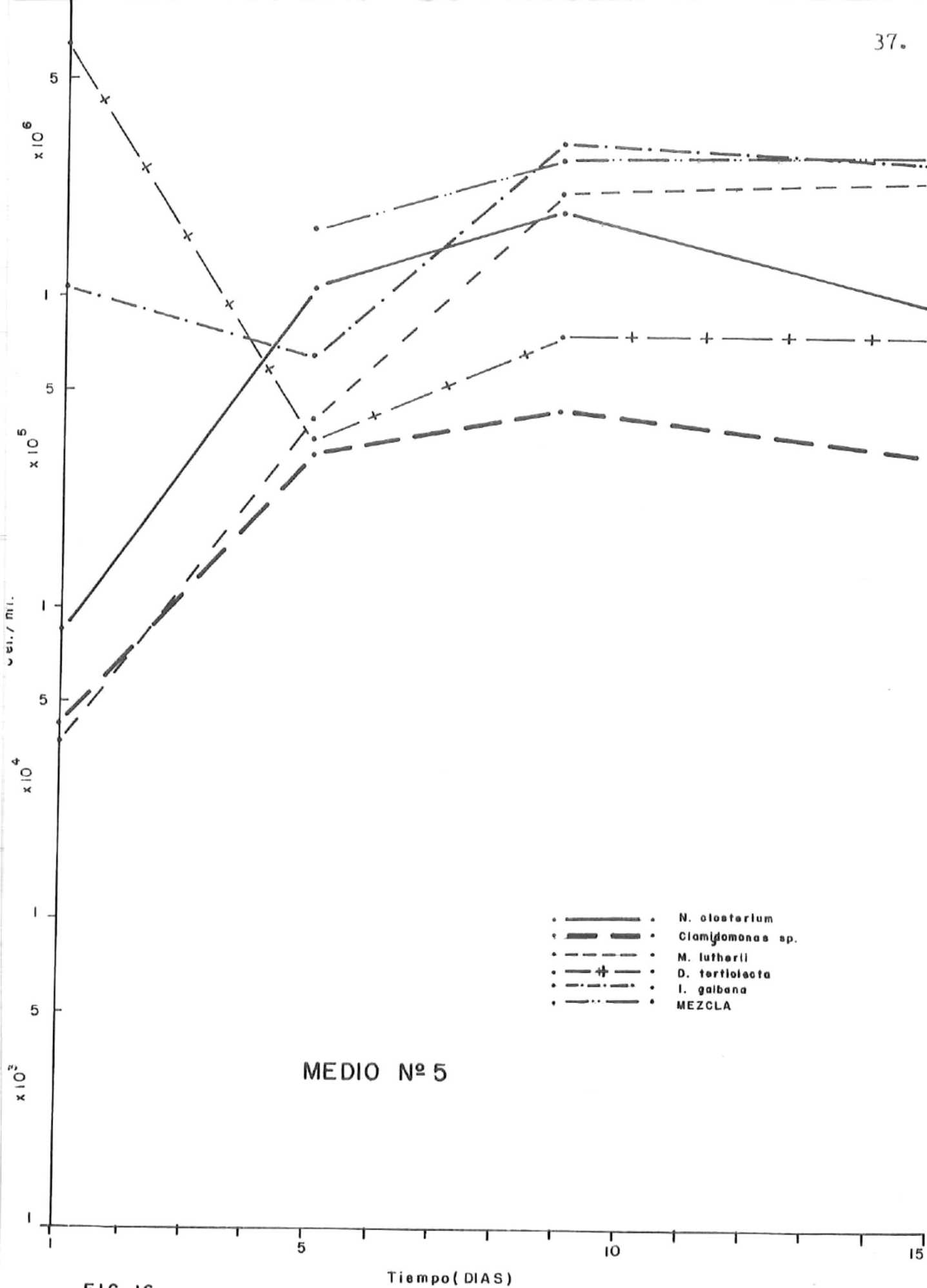


FIG. 16 Curvas de crecimiento (cel/ml) para las especies cultivadas en el medio No 5.

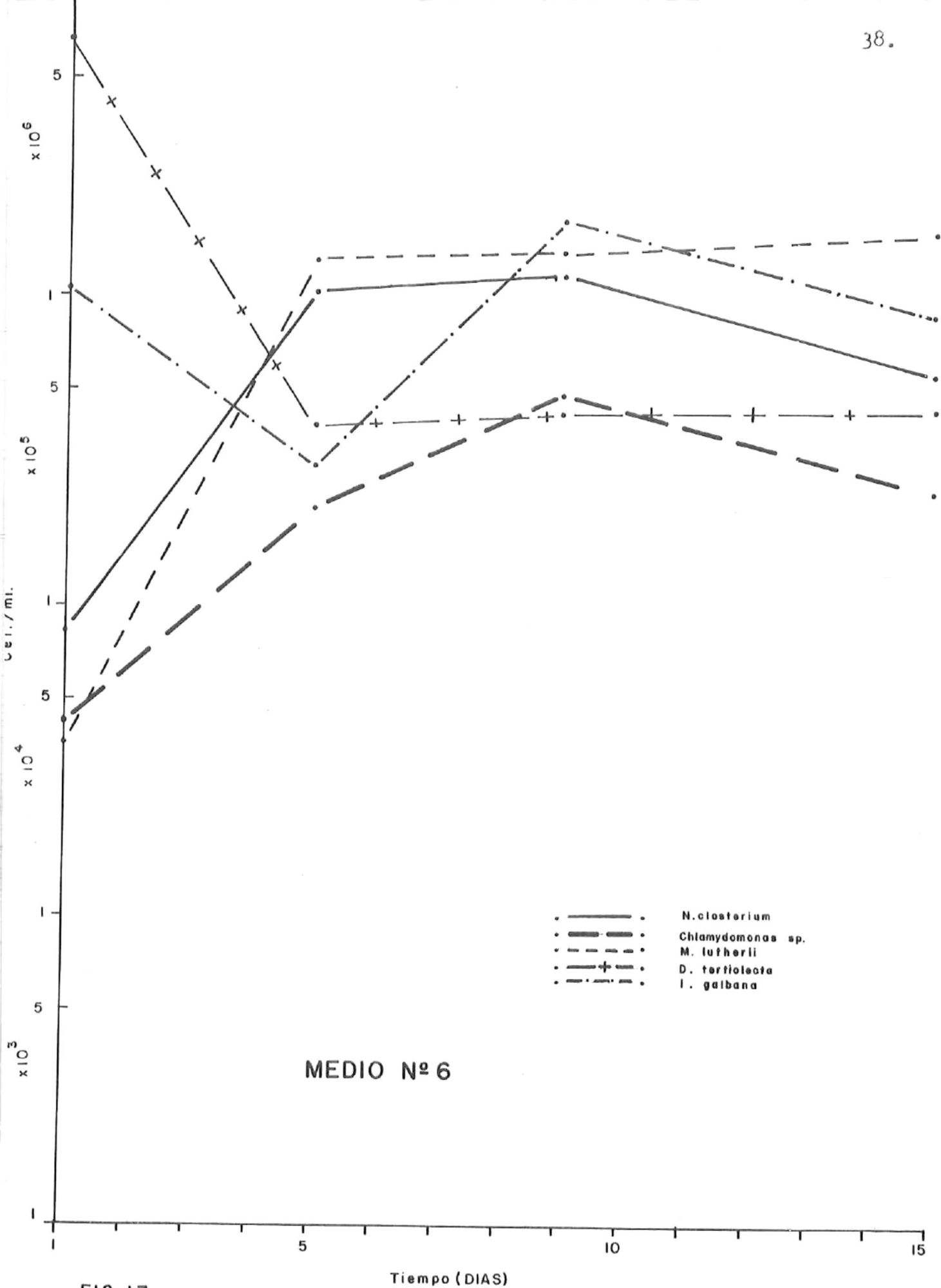


FIG. 17

Curvas de crecimiento (cel/ml) para las especies cultivadas en el medio No 6.

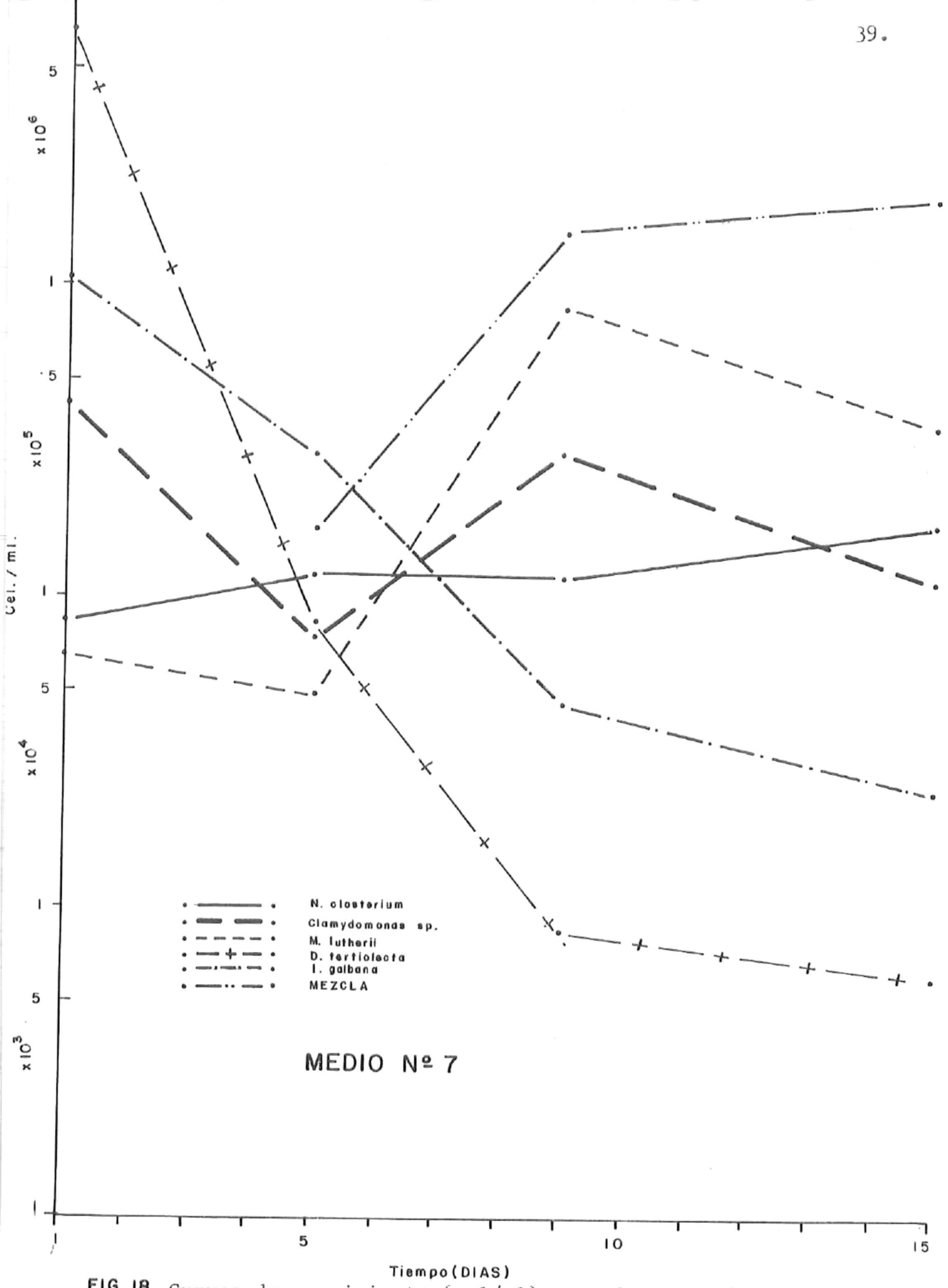


FIG. 18 Curvas de crecimiento (cel/ml) para las especies cultivadas en el medio No 7,

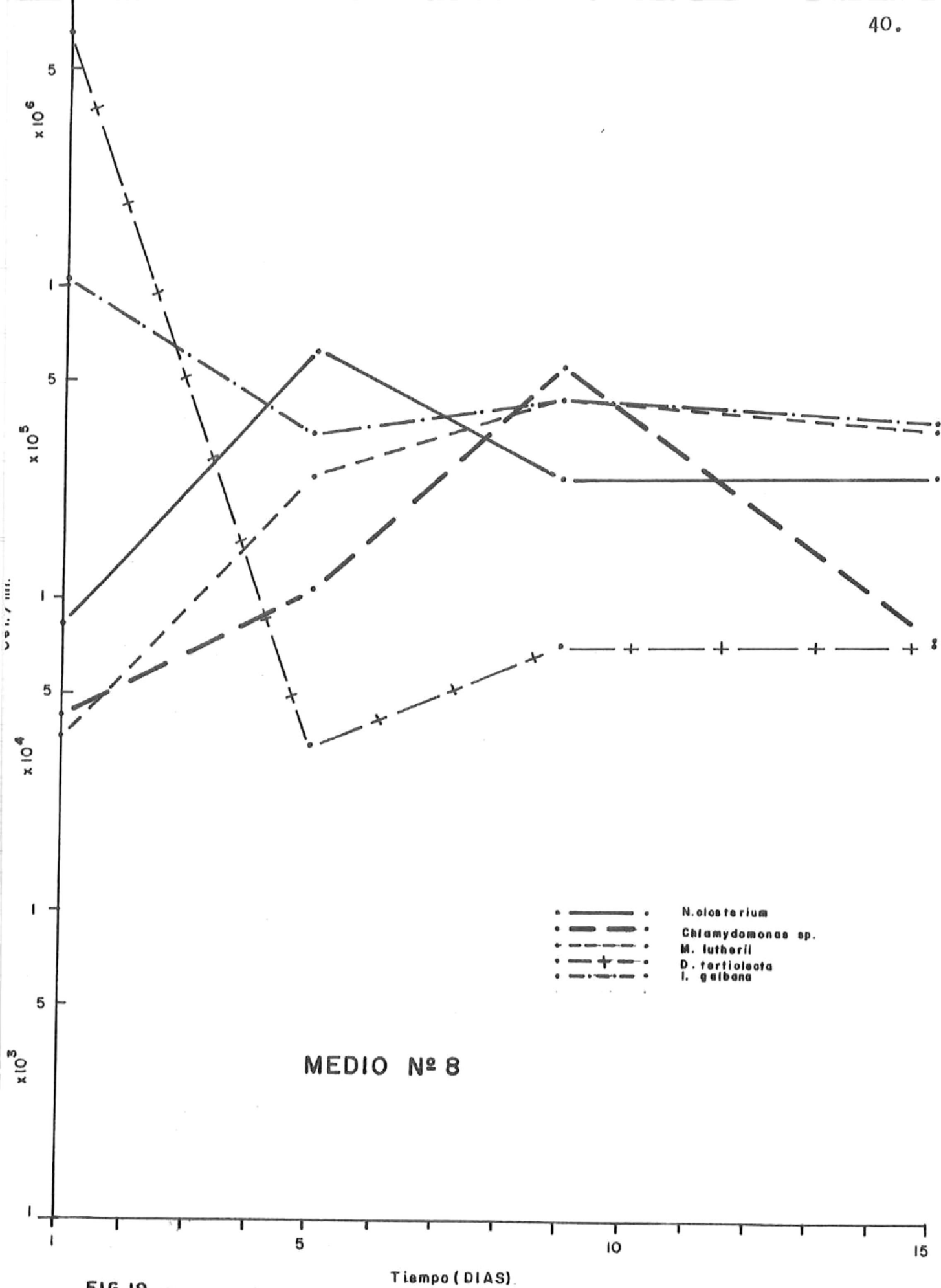


FIG.19 Curvas de crecimiento (cel/ml) para las especies cultivadas en el medio No 8,

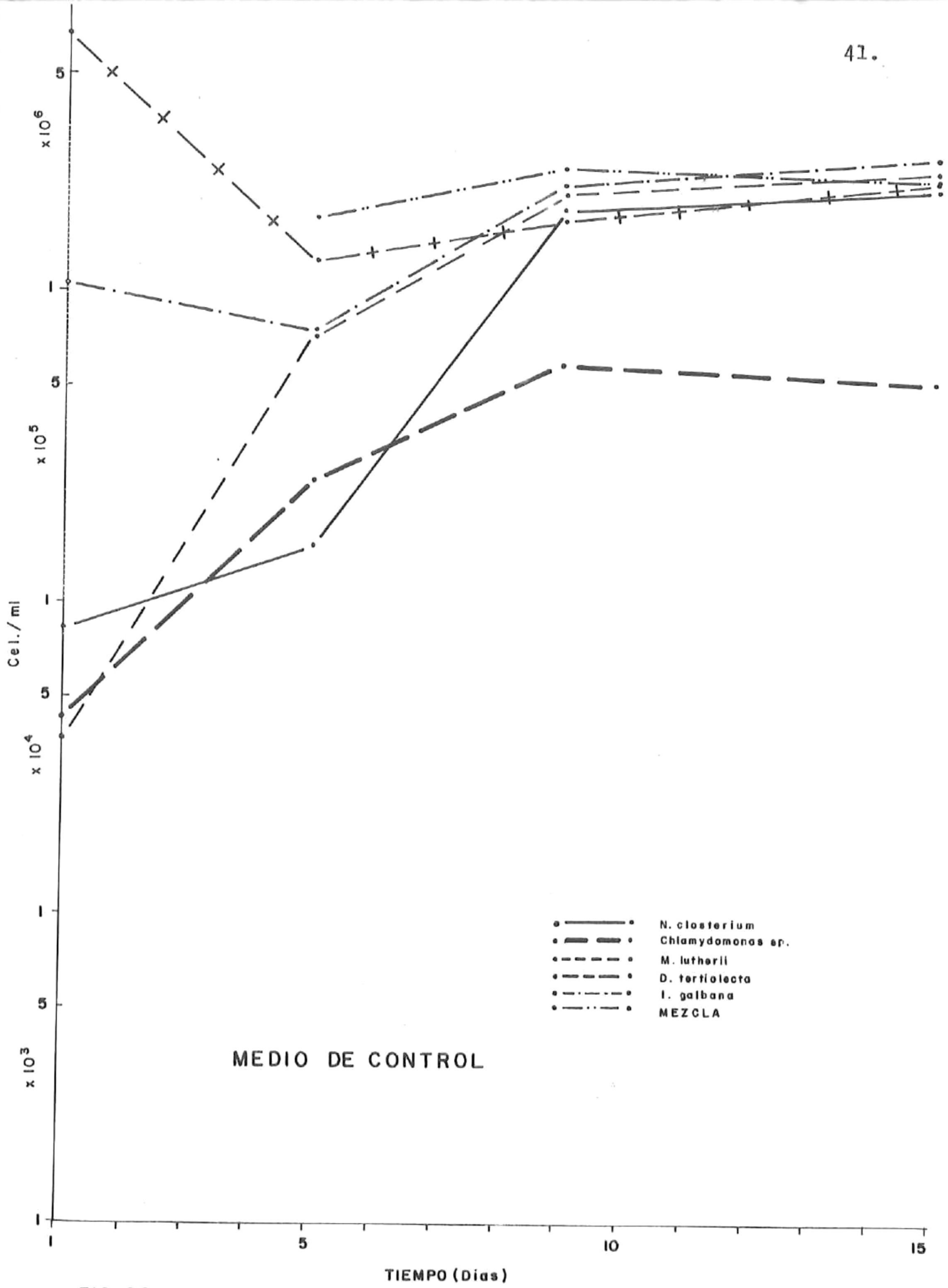


FIG. 20 Curvas de crecimiento(cel/ml) para las especies cultivadas en el medio de Control.

RESULTADOS Y DISCUSION

El contenido de nutrientes en los medios de cultivo experimentales solo es posible conocerse de una manera aproximada a causa de la variación observada en los datos anuales proporcionados por cortesía de Santee Water District, para los diversos estadios de tratamiento de aguas de albañal, (Tab.2).

Los promedios anuales para nitratos varían desde 0.20 mgN/l hasta 1.45 mgN/l. Los fosfatos varían de 134.8-200.6 mgP/l. Los valores para NO_3^- presentan un aumento a lo largo de los estadios del sistema. Los valores para $\text{SO}_4^{=}$, presentan un aumento a lo largo de los estadios en forma similar a los nitratos pero en menor grado.

Los fosfatos disueltos y suspendidos en el agua de albañal sin tratar representan el 54.8% y los orto fosfatos corresponden al resto. La composición particular de nutrientes en cada fase de tratamiento no se obtuvo por la gran variabilidad en los datos.

Los valores de nutrientes en los medios experimentales proporcionados por el Santee Water District (SWD) y los valores en el medio de control del FCRG, indican que las concentraciones iniciales de nitratos para aguas de albañal sin tratar, poseen valores inferiores a los del medio de control, los valores de NO_3^- reportados para la descarga de aguas tratadas hacia el Río San Diego, son superiores al medio de control.

Los sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$) reportados para los medios experimentales exceden en 6 órdenes de magnitud a los presentes en la formulación del medio de control.

Los fosfatos ($\text{PO}_4^{=}$) en los medios experimentales exceden a los del medio de control, (Tab.2 y 3).

Las especies N. closterium, M. lutherii, I. galbana, Chlamydomonos sp. y la mezcla de las 5 especies, obtuvieron un crecimiento similar entre si aunque inferior en todos los casos al obtenido en el medio de control.

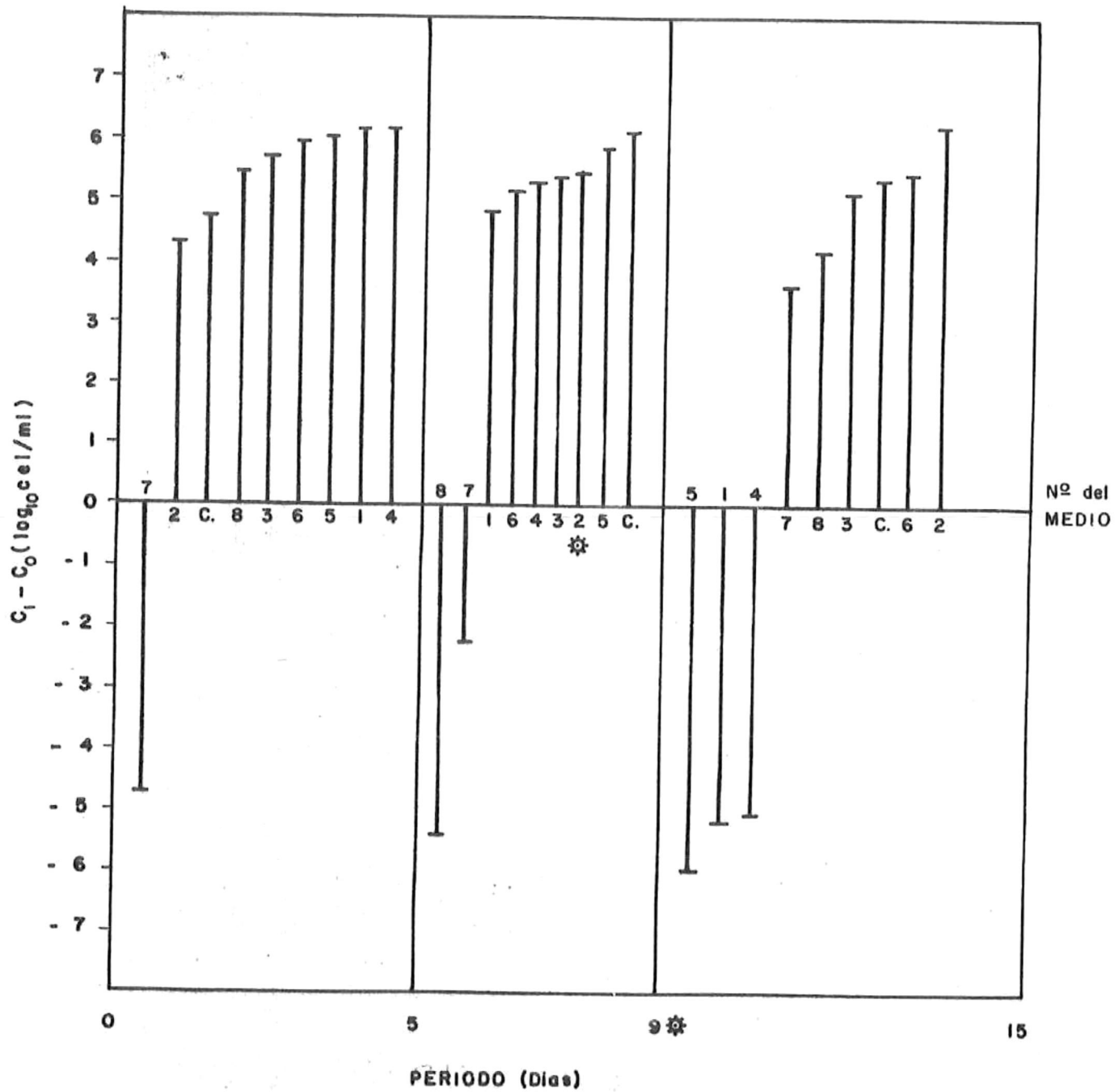
El crecimiento observado para cada especie en los medios de cultivo a lo largo del tiempo se muestra en las (Figs.12-20). De la Tab.8, se observa que las especies N.closterium, I.galbanana; obtuvieron calificación comparativa similar (-10). Las especies M.lutherii y Chlamydomonos sp. obtuvieron calificación similar (-8) y la mezcla de 5 especies obtuvo calificación (-6), que corresponde al máximo crecimiento comparativo obtenido en el bioensayo.

Para los medios de cultivo la calificación comparativa en orden ascendente se presentó en la secuencia; medio No.4 calif. (+1), No.2 (+2), No.5 (+4), resultando todos los medios restantes con calificación negativa.

Las gráficas 12-20 (log cel/ml: tiempo) indican que la velocidad de crecimiento para las 5 especies y la mezcla de ellas fue inferior a la velocidad de crecimiento obtenida en el medio de control, lo cual indicaría que los medios experimentales son inhibidores del fitoplankton en mayor ó menor grado. Tomando en cuenta que los valores para nitratos en promedio son inferiores a los del medio de control y que las gráficas de incremento de concentración en los 3 intervalos a lo largo del experimento, (Figs.21-26), se observa que para las especies:

N. closterium (Fig.21), en el período (de 0-5 días) los incrementos se muestran superiores para los medios Nos. 8, 3, 6, 5, 1 y 4 en orden ascendente respecto al control.

Nitzschia closterium



* Ajuste de pH y reinoculación

FIG. 21 Incremento de concentración en los medios de cultivo

En el segundo período(5-9 días), todos los medios experimentales presentan incrementos inferiores respecto al control y durante el tercer período (9-15 días) los medios de cultivo 6 y 2 presentan incrementos superiores al control. Al final del segundo período se ajustó el pH a 8.0 con lo cual se presentó un incremento de $7.35 \times 10^5/6$ días durante el tercer período, mientras que el incremento observado en el medio de control fue $1.35 \times 10^6/6$ días.

Tanto en el primero como en el segundo períodos el medio No. 6 presenta un incremento negativo colocándolo en último y penúltimo lugar en orden ascendente, la razón del fenómeno se discutirá mas adelante.

M.lutherii (Fig.22)- en el primer período los incrementos fueron positivos y los medios NOs. 4, 1, 3 y 6 mostraron incrementos superiores al de control.

En el segundo período, se presentaron incrementos positivos superiores al de control en los medios Nos. 4 y 5 únicamente, con valores negativos para el medio No.2.

En el tercer período, se encontró un incremento positivo superior al de control en los medios Nos.3, 1, y 2; haciendo notar que después de ajustar el pH en el medio No.2 se presentó un incremento positivo de 9 órdenes de magnitud respecto al período anterior, mientras el medio de control tuvo un incremento negativo de un orden de magnitud.

I.galbana (Fig.23)- se encontró que en el primer período todos los incrementos fueron negativos, mientras que en el segundo período se encuentra sorprendentemente un incremento positivo en todos los medios, obteniendo los medios 1, 6, 4, 3 y 5 incrementos superiores al de control.

Monochrysis lutherii

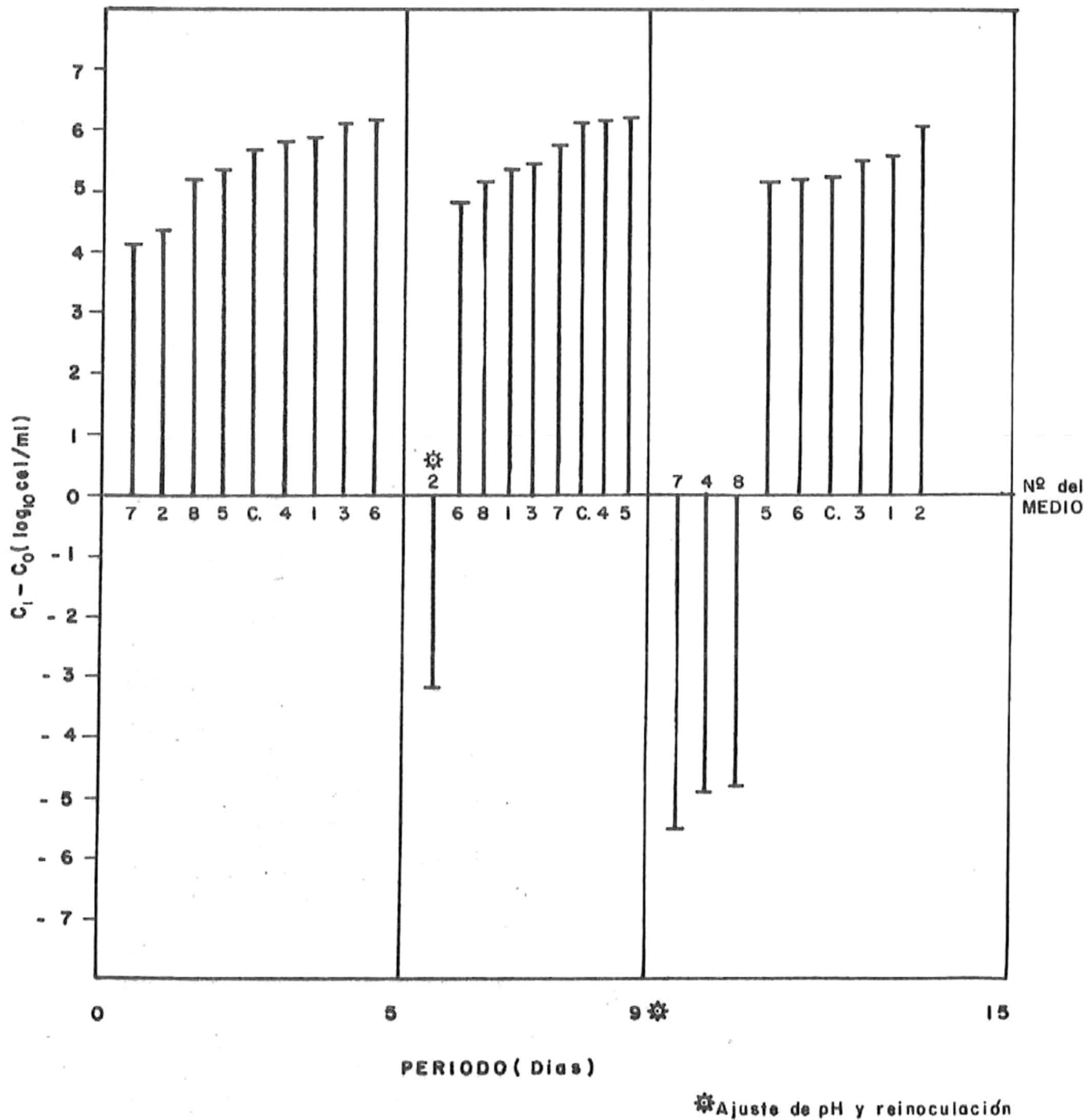
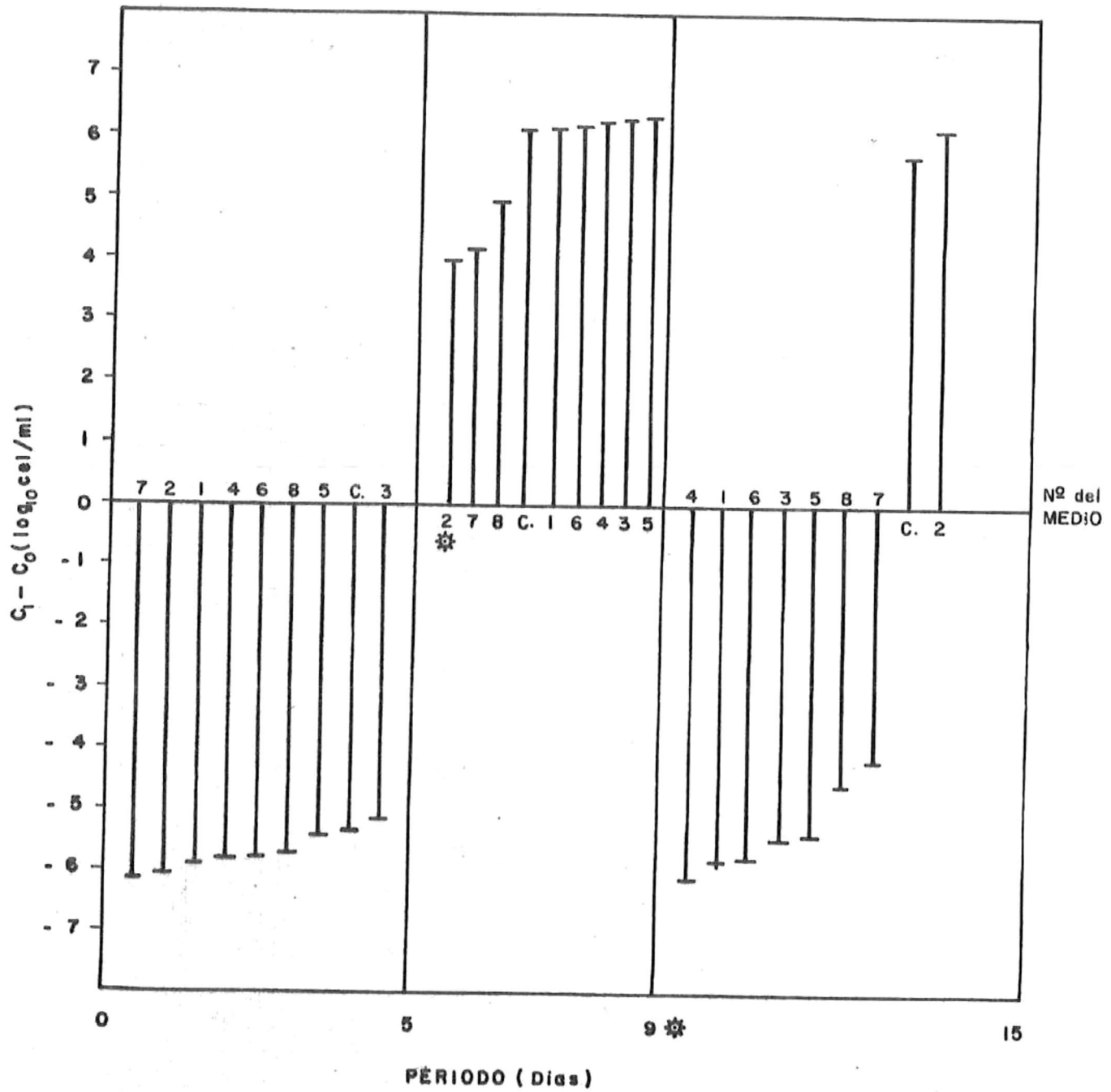


FIG. 22 Incremento de concentración en los medios de cultivo

Isochrysis galbana



* Ajuste de pH y reinoculación

FIG. 23 Incremento de concentración en los medios de cultivo

Durante el tercer período se presenta un incremento positivo en el medio No.2 superior al de control, después del ajuste de pH, mientras que los demás medios presentan incrementos negativos e inferiores al control.

Chlamydomonas sp. (Fig.24)- se encontró que durante el primer período todos los medios de cultivo presentaron incrementos positivos. Los medios No. 4 y 5 fueron superiores al de control.

Durante el segundo período se presentan otra vez incrementos positivos en todos los medios, siendo el No.4 el de mayor incremento y el No.2 el de menor, con respecto al control.

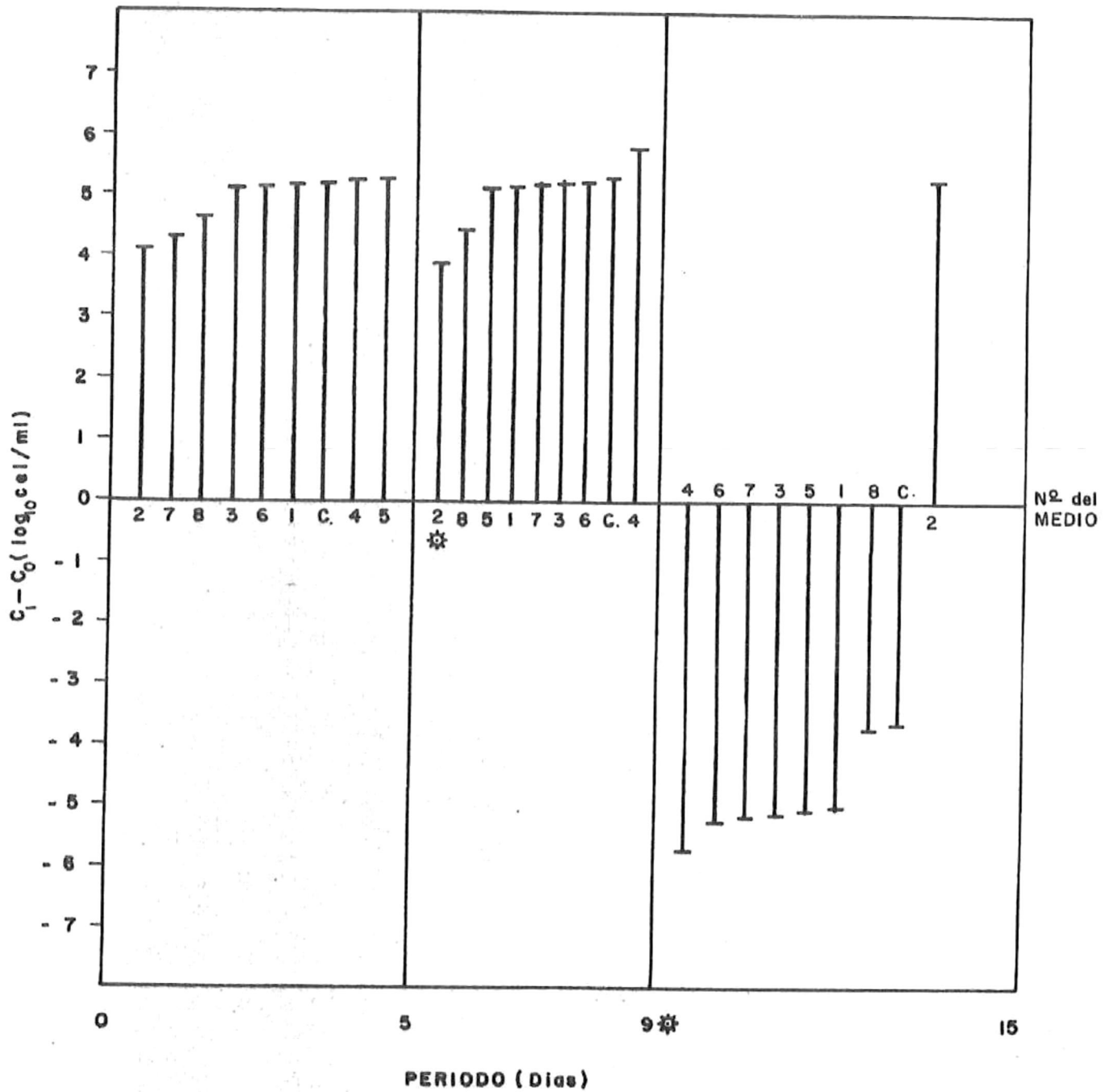
En el tercer período todos los medios; excepto el No.2 presentaron incrementos negativos. La diferencia entre el incremento en el medio No.2 y el control fue 9 órdenes de magnitud.

D. tertiolecta (Fig.25)- se encontró que durante el primer período, todos los medios experimentales presentaron incrementos negativos y únicamente el control presentó incremento positivo. Según (Guillard en Lewin, 1962, *Water Microbiology*) D. tertiolecta tiene requisitos osmóticos y de sodio que limitan su crecimiento en medios hiposmóticos.

Durante el segundo período todos los medios; excepto el No.7, presentaron incremento positivo y los medios 5 y 4 mostraron incrementos superiores al de control.

Cabe notar que el medio No.7 se muestreó inmediatamente después de la clorinación en el sistema de tratamiento y su efecto se discutirá más tarde.

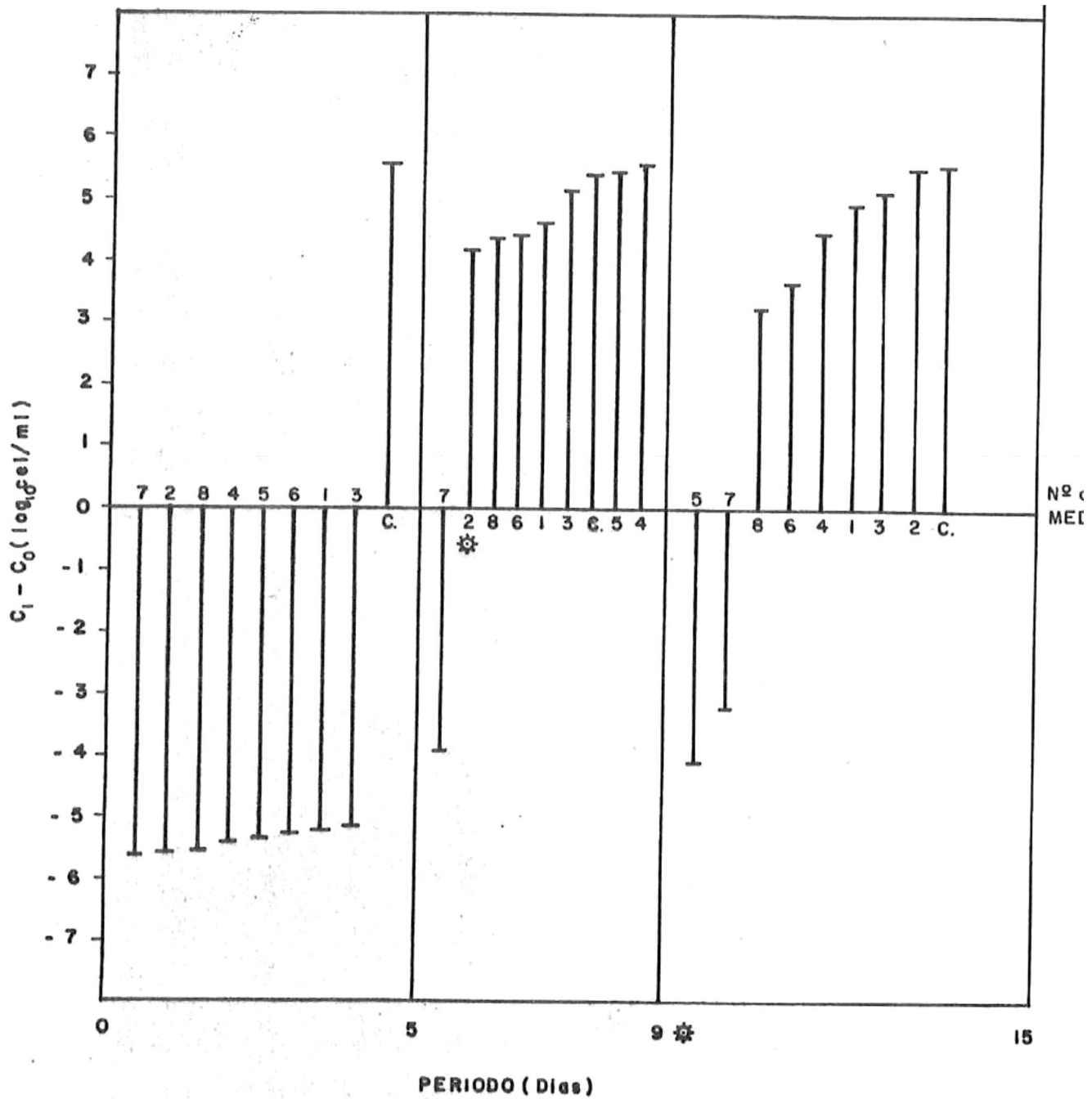
Chlamydomonas sp.



* Ajuste de pH y reinoculación

FIG. 24 Incremento de concentración en los medios de cultivo

Dunaliella tertiolecta



⚙ Ajuste de pH y reinoculación

FIG. 25 Incremento de concentración en los medios de cultivo

En el tercer período todos los medios experimentales tuvieron incrementos inferiores al de control, siendo negativos los medios Nos. 5 y 7.

Mezcla de las 5 especies (Fig.26)- se cultivó únicamente en los medios nones y control, durante el segundo y tercer período.

En el segundo período se presentó un incremento positivo en todos los medios excepto el de control que sorprendentemente fué negativo. La diferencia entre los incrementos de los medios experimentales y el control fue mayor de 10 órdenes de magnitud, lo cual repite el fenómeno observado para Chlamydomonas sp. para los medios No.2 y control, con la diferencia que en aquel caso todos los demás medios sufrieron incrementos negativos. Como en el cultivo mezclado no se inoculó al medio No.2, se carece de información sobre el efecto del pH sobre la mezcla de especies.

El pH de los medios nutritivos al final de período experimental (15 días) se muestra en la (Tab.10).

El pH de los cultivos al final del período experimental se muestra en la (Tab.11).

Los resultados del ajuste del pH se muestran en la tabla 12.

Mezcla

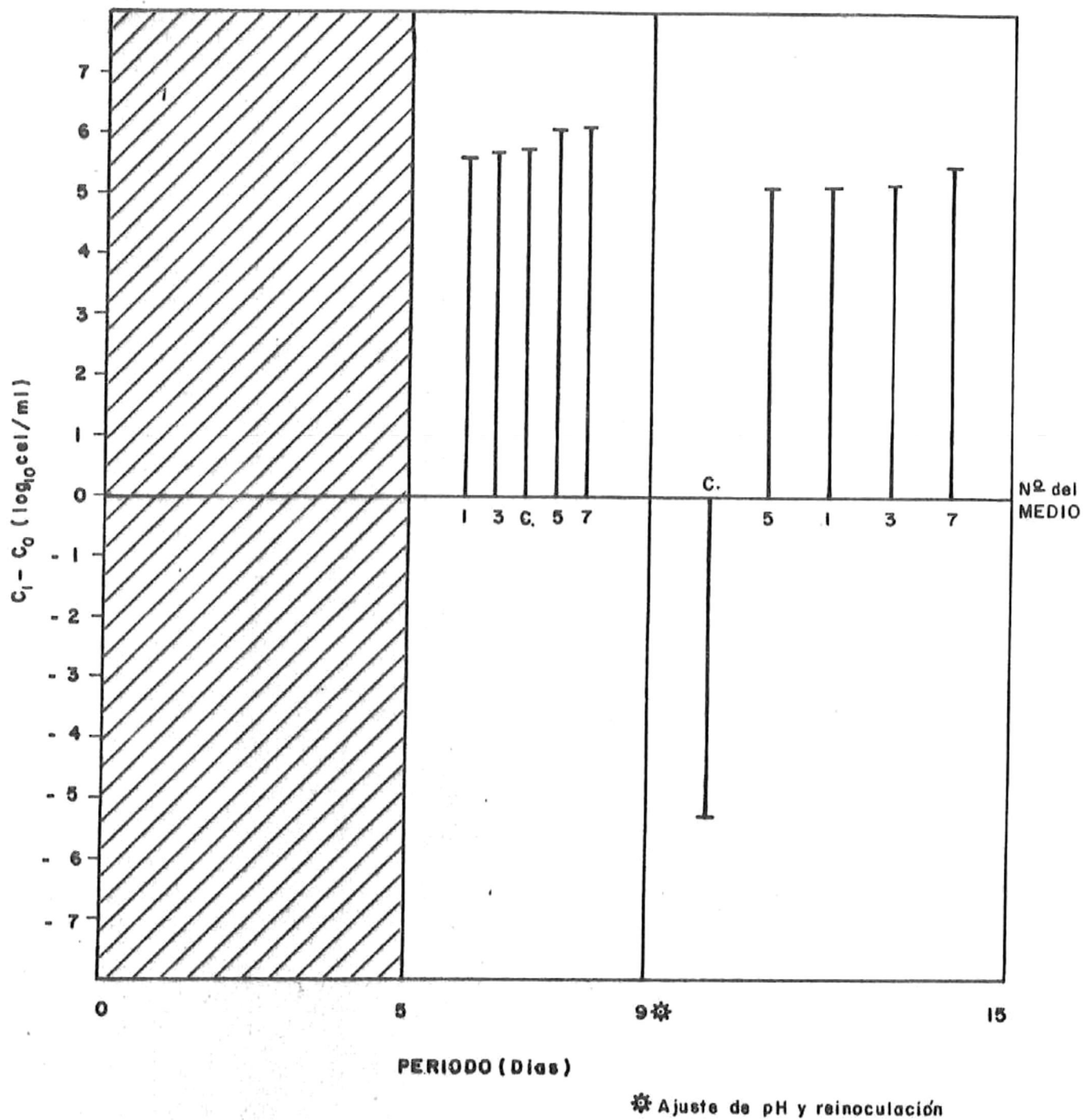


FIG. 26 Incremento de concentración en los medios de cultivo

TABLA 10

Muestra	pH
1	7.15
2	2.00
3	4.30
4	5.90
5	7.75
6	7.55
7	5.50
8	7.85
control	8.0

TABLA 11

Cultivo	pH
1	8.0
2	3.75
3	7.95
4	8.0
5	8.2
6	8.2
7	8.1
8	8.4
control	8.3

TABLA 12

Especie	Base	Co (cel/ml)	Ci (cel/ml)	AC/ 1 día
N. Closterium	NaOH	13310	10935	-2375
M. lutherii	NaOH	6210	32925	+26715
Chlamydomonos sp.	Ca(OH) ₂	44940	53745	+8805
D. tertiolecta	Ca(OH) ₂	49690	58815	+9125
D. tertiolecta	KOH	12940	42480	+29540
I. galbana	KOH	9320	8775	-545

Es de observarse que para N.closterium e I.galbana, se presentan incrementos negativos aun bajo el ajuste del pH lo cual indicaría que las bases usadas inhiben el crecimiento, pero de las gráficas de incrementos para esas especies (Figs. 21 y 23), aparece que en el caso de I.galbana todos los incrementos en el primer período son negativos, incluso para el medio de control lo que hace suponer un período de retraso considerable en relación a otras especies y no atribuible directamente a la base empleada para ajustar el pH; como se observa en la gráfica de crecimiento en el medio de control, (Fig.20) la pendiente es negativa durante el primer período.

En el caso de N.closterium, el incremento negativo no se explica fácilmente en base a los incrementos y pendientes presentados durante el primer período y las causas del fenómeno se desconocen.

Cuando el incremento positivo obtenido restando $C_i - C_o$ para un período de un día se extrapala al obtenido para un período de 6 días, como es el caso del medio No.2 (ajustado el pH con trisma base) para cada una de las 5 especies; se obtiene la (Tab.13), que muestra que las incrementos obtenidos con bases fuertes y Trisma Base solo difieren en un orden de magnitud.

TABLA 13

Especie	Base	$\Delta C/1$ Día x 6	$\Delta C/6$ Días con Trisma base
M.lutherii	NaOH	1.6×10^5	1.26×10^6
Chlamydomonas	$Ca(OH)_2$	0.52×10^5	0.27×10^6
D.tertiolecta	$Ca(OH)_2$	0.54×10^5	0.57×10^6
D.tertiolecta	KOH	1.77×10^5	5.06×10^5

Se conoce que el crecimiento del fitoplankton tiene forma exponencial en su fase inicial de reproducción por lo que se asume que el incremento de concentración en el tercer período observado para el medio No.2 después de ajustar el pH a 8.0 con trisma base, no es un artificio causado por el reactivo (ya que la variación interespecífica en los incrementos observados, es mayor que la obtenida por ajuste de pH) sino el resultado del ajuste, pudiendo usarse cualquiera de las bases empleadas para el experimento.

En cada una de las especies cultivadas en el medio No.2, aparecieron organismos de apariencia filamentosa, características de las micelas fungiformes y es conocido que los hongos en las aguas de albañal pueden desdoblar la materia orgánica hasta $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, cuando el desdoblamiento es aerobio.

Las condiciones en el cultivo de fitoplankton eran tales que la algas produjeron oxígeno a través del proceso fotosintético y los hongos (?) usaron el gas para oxidar la materia orgánica disuelta en el medio de cultivo ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \longrightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$), dirigiendo el sistema del bióxido de carbono en el sentido ácido de manera que el descenso de los valores de pH encontrados al final del segundo período (9º día) es fácilmente atribuible a las colonias fungiformes que desaparecieron gradualmente al ajustar el pH a 8.0, a lo largo del tercer período y restableciéndose la flora fotosintética.

Partiendo de la capacidad amortiguadora del agua de mar que se presenta como resultado del sistema del CO_2 , ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{=}$) según (Spotte, 1970) las fracciones molares de ácido carbónico, bicarbonato y carbonato en agua de mar con salinidad de 33.51‰ a 24°C varían

con el pH como se muestra en la (Tab.14), e indican una alta proporción de bicarbonato libre a los valores de pH observados en los cultivos. De esta manera en los medios Nos.2 y 3 la acidez se origina en gran parte (>91.4%) por el hidrógeno generado en la producción de bicarbonato en el sistema del CO_2 .

TABLA 14
Según Spotte, 1970.

pH	H_2CO_3	HCO_3^-	CO_3
7.9	1.1	91.4	7.5
8.0	0,9	89.7	8.4
8.1	0.7	87.9	11.4
8.2	0.5	85.3	14.2
8.3	0.4	82.4	17.2
8.4	0.3	78.9	20.8

El medio No.7 fue muestreado en el primer lago de almacenamiento, inmediatamente después de la clorinación (Fig.11) y es en este medio de cultivo donde se presentan valores bajos de concentración e incremento (cel/ml), relativos a los medios experimentales y de control que se observan para las especies cultivadas a excepción de la mezcla de ellas, donde se presentó un incremento superior a los demás medios experimentales y al control (Fig.26). De acuerdo con (Ryther, 1972) la presencia de residuos de cloro en aguas de albañal, causa una inhibición en el crecimiento del fitoplankton que desaparece cuando escapa hacia la atmósfera.

CONCLUSIONES

Aunque no es posible conocer los valores exactos de nutrientes en los medios experimentales, los datos indican que en los primeros estadios del tratamiento de las aguas de albañal en el sistema de Santee, California, el nitrógeno se presenta en su forma reducida cuya oxidación aumenta de acuerdo al número de fases en que el agua entra en contacto con la atmósfera.

El máximo crecimiento comparativo al medio de control usado como base, se observa en la mezcla de 5 especies cultivadas en el medio No.5.

Las especies M.lutherii y Chlamydomonas sp., cultivadas en los medios Nos.4 y 5 respectivamente; presentan máximo crecimiento comparativo e incremento de concentración respecto al medio de control.

N.closterium presentó un incremento de concentración considerable durante el primer período de cultivo (0-5días) pero falla en el segundo y tercer períodos, al inverso que D.tertiolecta.

Se concluye que los medios de cultivo experimentales presentan incrementos de concentración superiores, cuando no aparecen inhibiciones por clorinación residual, colonias fungiformes y cuando el nitrógeno disponible se encuentra oxidado ya que se advierte un desplazamiento hacia mayores incrementos en los medios que corresponden a las últimas fases del tratamiento, cuando no existen factores químicos ó biológicos que modifiquen el pH, como resultado de un desbalance del sistema del CO₂.

Se concluye que el ajuste del pH en los medios de cultivo con cualquier tipo de base, es equivalente respecto al incremento resultante de concentración.

Se concluye que M.lutherii, Chlamydomonas sp., N.closterium y la mezcla de las 5 especies usadas para el bioensayo, resultaron ser las especies de crecimiento más rápido durante el primero y segundo períodos, mientras que I.galbana y D.tertiolecta mostraron crecimiento más rápido durante el segundo y tercer períodos, fenómeno que se atribuye en este caso a un período de retraso en el crecimiento; causado por la sensibilidad osmótica de la última especie cultivada en aguas de baja salinidad, de acuerdo con McLachlan, 1960; en Lewin, 1962 .

Se concluye que N.closterium tuvo valores bajos de incremento de concentración en los medios Nos.1, 2, 7 y 8, a causa del nitrógeno disponible en forma reducida (amoníaco, ácido úrico, aminoácidos, etc.) en los medios Nos.1 y 2; lo cual coincide con los reportes de (Vaccaro y Ryther, 1960 en Lewin, 1962). En los medios Nos.7 y 8 la cantidad de nitrógeno disponible era insuficiente para el crecimiento que se demuestra al obtener incrementos después de liberar la inhibición causada por desajuste del pH en el medio No.2 durante el tercer período de cultivo. Esto coincide con las observaciones de asimilación de nutrientes en forma logarítmica reportados para N.closterium por (Antia, 1965).

Los valores de concentración celular obtenidos durante el bioensayo alcanzaron los niveles previstos en la literatura (ver Introducción), a excepción de aquellos donde se presentaron inhibiciones físico-químicas explicables.

De los resultados de la Tab.9 se concluye que M.luthe-rii tiene preferencia en la asimilación de nutrientes en su forma reducida (No.1 al 5), mientras que I.galbana presenta en los medios Nos.6 y 8 y control. Esto explica en parte la razón de la fase de retraso observada para esta especie en el primer período, y refuerza el incremento obtenido por M.luthe-rii durante el mismo período.

En general el crecimiento de la mezcla de especies en un cultivo donde los nutrientes se presentan inicialmente en sus formas reducida y oxidada, se optimiza por la capacidad fisiológica preferencial de las especies hacia los tipos de nutrientes disponibles cuya razón varía a lo largo del tiempo, presentándose una sucesión de las especies que no se observa cuando los nutrientes son del tipo oxidado artificiales, como es el caso del medio de control de FCRG.

PROYECTO

Introducción.

La Bahía de Todos Santos recibe la descarga de dos tipos básicos de desechos orgánicos, los producidos por 11 emparadoras y procesadoras de alimentos marinos y las descargas de las aguas de albañal producidas por la Ciudad de Ensenada.

Las descargas del procesamiento industrial de alimentos se localizan en 4 zonas de la bahía:

- 1.- El Sauzal de Rodríguez
- 2.- La parte externa del Rompeolas
- 3.- La parte interna del Rompeolas
- 4.- La Playa Municipal (Fig.4).

La suma total de las descargas producidas por las emparadoras, alcanza valores de 14,763 m³/día durante un período medio de once meses.

La máxima descarga unitaria es producida por la Pesquera del Pacífico (en El Sauzal de Rodríguez) que alcanza valores de más de 200 m³/día y labora todo el año.

La población de la Ciudad de Ensenada es de 100,000 Hab. para fines de cálculo, de los cuales el 40% posee servicio de drenaje, las aguas residuales son descargadas en 2 zonas particulares:

- 1.- Centro Turístico "Playitas"(Fig.4, zona II), donde descargan las aguas de albañal de las colonias Moderna y Nuevo Chapultepec y alcanzan valores de 884 m³/día (Domínguez-Malagón, 1975, datos no publicados).
- 2.- Planta Tratadora en el Arroyo El Gallo, donde descargan las aguas de albañal del resto de las colonias. Los 2

tanques de sedimentación tipo Imhoff eliminan los sólidos sedimentables con 50% de eficiencia, reducen la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en 14.34%, eliminan los sólidos suspendidos en 40%, reducen los sólidos totales en 34% y eliminan el nitrógeno amoniacal en 60% (Flores-Muñoz , 1975, datos no publicados).

Asumiendo que el gasto diario de agua por habitante es de 200 litros, se calcula que el volumen diario bombeado hacia los tanques Imhoff es 7400 m³/día.

El agua tratada con la eficiencia indicada para los parámetros mencionados, es bombeada hacia el Valle de Manadero a través de un canal en cuyo extremo se descargan los residuos para ser usados con fines agrícola limitados.

En la actualidad está en construcción la segunda etapa de la planta de tratamiento que después de aerear, clarificar y clorinar el agua será descargada por el mismo canal ó bien será usada con otra finalidad.

La descarga de los desechos del procesado de alimentos en forma continua y de aguas semitratadas en forma intermitente a través del Arroyo El Gallo, ha producido un fenómeno de Eutroficación en la rada del puerto, que se reporta desde 1973 por (Lizarraga-Partida,), definiendo Eutroficación como el incremento del Nitrógeno, Fósforo y otros nutrientes disueltos, a lo largo del tiempo, que producen la transición de una etapa inicial pobre en nutrientes (oligotrófica) hasta otra más productiva (Eutrófica) que al sucederse producen un desajuste y sobresimplificación de las redes alimenticias dando como consecuencia la muerte y descomposición de plantas y animales acuáticos (Warren, 1971).

El sistema que se propone tiene como base la separación física de los productores y consumidores de los diferentes niveles tróficos, produciendo un balance dinámico que se traduce en una producción de biomasa igual a 10^3 veces la reportada por sistemas eutróficos acuáticos naturales (2-3 ton/ha/año) (Ryther, 1972; Odum, 1971).

La base eutrófica del proceso se inicia en un cultivo de fitoplankton estuarino capaz de extraer los nutrientes disueltos a concentraciones de 20-25 mgN/l y 10-5 mgP/l (Ryther, 1975), transformandolos a materia orgánica particulada por medio de la fotosíntesis.

La forma del diseño hace que sea capaz de eliminar todo el nitrógeno disuelto en los residuos de tratamiento secundario y el agregado por el agua de mar usada para hacer el medio de cultivo.

La eficiencia para eliminar nitrógeno reportado en sistemas similares es 89.3% en los tanques de cultivo de fitoplankton, cuando las aguas residual y de mar se mezclan en proporción 30:70, bajo recambio hidráulico del 25%/día del volumen total de medio nutritivo ó bajo mezcla en proporción 10:90 con recambio hidráulico del 75%. La eficiencia total para eliminar nitrógeno es 89.3% (Ryther, 1975).

El fósforo disuelto solo se elimina al 75% a causa de la desproporción en el contenido de N:P presente en los residuos de aguas de albañal que es 7:1, mientras que la proporción de N:P en el fitoplankton es 10-15:1 (por átomo) que resulta en un déficit de nitrógeno y acumulación de fósforo. Este problema se atenúa en el segundo estadio del proceso que consiste en un filtro biológico que produce nitrógeno en forma

de amoníaco, urea, aminoácidos, etc. que elevan la proporción N:P y hacen que en el tercer estadio (algas macroscópicas) se eliminen los dos elementos hasta niveles equivalentes a los iniciales del agua de mar (1 g N/día) (Ryther, 1975).

La eliminación del nitrógeno aumenta cuando se presenta en forma de amoníaco ionizado (NH_4^+) que pasa a la atmósfera bajo condiciones de agitación implícitas en el diseño y valores elevados de pH como resultado de la fotosíntesis.

La producción de nitrógeno particulado (fracción del fitoplankton) es independiente de la hora del día, mientras que el carbón particulado y el pH, presentan variaciones cíclicas a lo largo del día (Goldman y Ryther, 1975).

De los resultados de los bioensayos se estableció que un cultivo mixto de especies fitoplanktónicas en medios de cultivo naturales, usando como fuente de nutrientes los disueltos en agua de tratamiento y agua de mar en proporción 10:90 respectivamente, son capaces de producir concentraciones de 10^5 - 10^6 cel/ml ó 10-15 mg C/l y 1.6 mg N/l, siempre que no existan inhibiciones causadas por bajo pH, residuos de cloro ó contaminantes.

Las etapas básicas en que se funda el sistema propuesto son:

- 1.- Mezcla de algas fitoplanktónicas cosmopolitas cultivadas en un medio nutritivo formado por proporciones variables de agua de tratamiento secundario y agua de mar.
- 2.- Filtro biológico integrado por moluscos bivalvos, para eliminar las algas en suspensión.
- 3.- Organismos detritófagos omnívoros para consumir los desechos producidos en el filtro biológico.

4.- Algas macroscópicas productoras de ficocoloides, para pulir las aguas que salen del filtro biológico y que contienen los metabolitos de los filtro alimentadores y detritófagos.

Las especies propuestas para cada fase del sistema se seleccionaron en base a su disponibilidad local, características fisiológicas y valor comercial.

Aunque el sistema se calculó únicamente para la fracción del gasto total de las aguas residuales de Ensenada que representa el 50% de la población, es posible ajustar el diseño de acuerdo al volumen descargado en cada zona de descarga de la bahía.

DISEÑO DEL SISTEMA

El gasto de agua de albañal descargado por 40% de la población de Ensenada, asciende a 8×10^3 m³/día, incluyendo las descargas de 2 colonias que vierten hacia el mar a través de una barranca que desemboca en el campo turístico "Flayitas".

Para el diseño de gastos, volumen y razón de recambio hidráulico, se usaron los desechos producidos por el 50% de la población (5×10^4 Hab.) cuyo gasto es 1×10^4 m³/día.

De los datos geográfico, meteorológicos y oceanográficos de la Bahía de Todos Santos (ver Introducción, cap. Bioensayos), se propone el uso del fitoplankton existente en las aguas costeras ya que los organismos están adaptados a las condiciones físico-químicas del área y pueden soportar las variaciones locales en los parámetros.

Los resultados de los bioensayos indican un crecimiento superior de las especies bajo cultivo mixto, partiendo del hecho que un mayor número de especies presentan adaptaciones fisiológicas particulares hacia el nivel y composición de los nutrientes disponibles. De acuerdo con Chesnut, (1971); Dunstan y Menzel, (1971); Dunstan y Tenore, (1972); Ryther, (1975 a, b, c); Ryther et. al., (1972); Ryther et al., (1973); Goldman y Ryther, (1975 a, b); Goldman et. al., (1974 a, b), una población mixta de fitoplankton cultivado con nutrientes orgánicos naturales presenta sucesiones poblacionales a lo largo del tiempo, de acuerdo a las condiciones estacionales. Se escogió el uso de una población fitoplanktónica no selectiva e indígena de la Bahía de Todos Santos.

El agua de mar después de bombearse, filtrarse a 100 μ y almacenarse es usada para diluir los nutrientes y la pobla-

ción de fitoplankton usada como alimento, eliminar los desechos de los filtroalimentadores y detritófagos y para proveer el oxígeno necesario para la respiración animal.

En la segunda etapa del sistema se emplean canales que contienen especies filtroalimentadoras y detritófagos omnívoros seleccionados en base a sus características adaptativas a las condiciones meteorológicas y físico-químicas de la Bahía de Todos Santos, su disponibilidad y valor económico.

Las especies seleccionadas para los canales de filtración fueron:

<u>Crassostrea gigas</u>	}	Ostiones
<u>Crassostrea virginica</u>		
<u>Mytilus edulis</u>	}	Mejillones
<u>Mytilus californianus</u>		
<u>Hinnites giganteus</u>	—	Almeja Catarina

Los detritófagos y omnívoros seleccionados para ingerir los desechos (detritus) producidos por los moluscos bivalvos fueron:

<u>Capitella capitata</u>	}	Gusanos anélidos poliquetos habitantes de la rada del puerto (Lizárraga-Partida, 1973, 1974).
<u>Dorvillea articulata</u>		
<u>Neanthes cornata</u>		
<u>Callianassa affinis</u>	}	Camarones moradores del sublitoral (Ricketts et al., 1970).
<u>Spirontocoris paludicola</u>		
<u>Penaeus spp.</u>		
<u>Cancer antenarius</u>	}	Cangrejos moradores del sublitoral (Ricketts et al., 1970).
<u>Cancer productus</u>		

<u>Panulirus interruptus</u>	——	Langosta espinuda
<u>Parophys vetulus</u>	—————	Lenguado
<u>Mugil spp.</u>	—————	Lisas

Los desechos solubles producidos por metabolismo de los moluscos y detritófagos se eliminan en tanques que contienen algas macroscópicas cuya selección se hizo en base a su presencia en la bahía y su utilización como materia prima para extraer ficocoloides, las especies seleccionadas fueron:

Gelidium purpurascens

G. crinale

Laminaria sp.

Gigartina canaliculata

G. acicularis

La superficie indispensable para construir las instalaciones de la planta que se propone, varían de acuerdo a la combinación de área, volumen de los estanques, del gasto que pasa a través de cada etapa en el sistema.

El área calculada únicamente para estanques y canales es 2.65 Has., ya que la localización tentativa en las inmediaciones de la planta de tratamiento de aguas de albañal en la localidad, hace que la disponibilidad de terreno sea un factor determinante en la planeación.

El cálculo del área de los estanques, tiempo de retención ó razón de recambio hidráulico y el volumen de agua, se hizo en base a 2 criterios; el propuesto por Fair et al., 1968, 460, a través de las ecuaciones para tiempo de retención (Td) y la capacidad de los estanques (C).

$$Td = h Y_0 \theta^{35-t} / (5.8 \text{ ES})$$

$$C = 5.3 \times 10^7 P q h Y_0 (1.072^{35-t_c}) / \text{ES}$$

Donde:

$$\theta = e^c = 1.072$$

h = profundidad del estanque en pies

Y_0 = carga del estanque (DBO) en mg/l

t = temperatura en grados F,

S = energía luminosa incidente

E = eficiencia de conversión de energía luminosa a química (2-6%)

F = población

q = descarga/habitante/día

t_c = temperatura crítica mínima en el estanque

El segundo criterio que se tomó en cuenta fué el propuesto por (Goldman y Ryther, 1972-1975) que trabajan empíricamente con sistemas experimentales de cultivo fitoplanktónico.

La máxima capacidad del sistema es $1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{día}$ cuando la razón de recambio es 100%/día.

La capacidad normal de funcionamiento es $5.5 \text{ m}^3/\text{día}$ distribuidos de manera que $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{día}$ ($0.11 \text{ m}^3/\text{seg}$) corresponde a los efluentes de tratamiento secundario, $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{día}$ ($0.46 \text{ m}^3/\text{seg}$) corresponde al agua de mar para producir las el medio nutritivo cuando la proporción de efluente y agua de mar se mantienen a razón de 20:80; $5.4 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{día}$ ($4.32 \text{ m}^3/\text{seg}$) corresponde al agua de mar necesaria para diluir el fitoplankton usado como alimento, eliminar los desechos y proveer de oxígeno a los moluscos y detritófagos en los filtros biológicos.

La mezcla de agua de mar y agua de tratamiento requiere ser almacenada en 10 estanques de 0.25 Ha. cada uno con dimensiones de 50 x 50 x 1 m (prof.) cuando el recambio hidráulico se ajusta al 75% del volumen total por día y ocupan una área de 2.5 Has. (Figs. 27,28).

La mezcla de agua de mar (filtrada a 100μ) y agua de tratamiento se producen en 2 tanques (ciclones de mezcla) con capacidad de 50 m^3 (Fig.29) y con gasto de $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{día}$ ($0.51 \text{ m}^3/\text{seg}$); las dimensiones de los tanques son 2 m de radio x 2.5 m de altura. La salinidad final de la mezcla es 17‰ cuando la razón de volúmenes es 50%; la salinidad final de la mezcla es 27‰ cuando la razón de volúmenes es 20:80, partiendo de una salinidad original en la bahía de 34‰.

Los moluscos bivalvos y detritófagos se mantienen en 5 canales de 50 x 2 x 3 m (prof.) con volumen de 300 m^3 c/u y gasto de $5.25 \text{ m}^3/\text{día}$ ($6 \text{ m}^3/\text{seg}$), ocupando una área de 500 m^2 donde se mantienen 185 ton. de moluscos.

El agua que sale de los canales de filtración, pasa a 5 tanques cilíndricos con capacidad de 600 m^3 c/u y flujo de $0.6 \text{ m}^3/\text{seg}$ siendo el gasto equivalente al descargado por los canales; las dimensiones de los tanques de macroalgas son 7.96m de radio y 3 m de altura, ocupan una área total de 1000 m^2 .

Bajo condiciones normales este sistema es capaz de eliminar prácticamente todo el nitrógeno disuelto en sus formas NO_3^- , urea, ácido úrico y aminoácidos, el 50% del fósforo disuelto cuando la mezcla se ajusta a 20:80% de aguas de tratamiento y de mar; ajustando la razón hidráulica al 50%/día la productividad de los tanques de fitoplankton a la latitud de

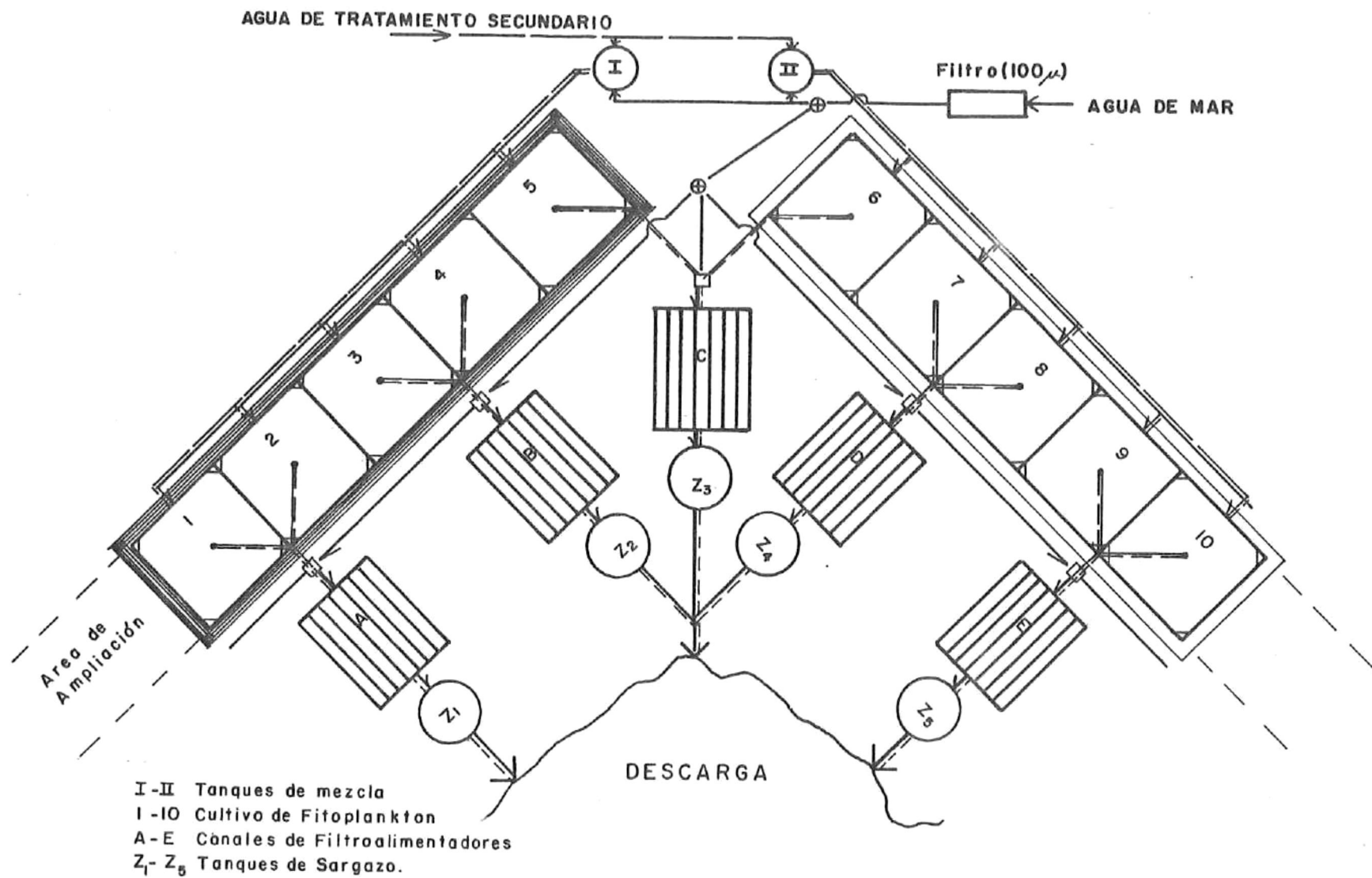
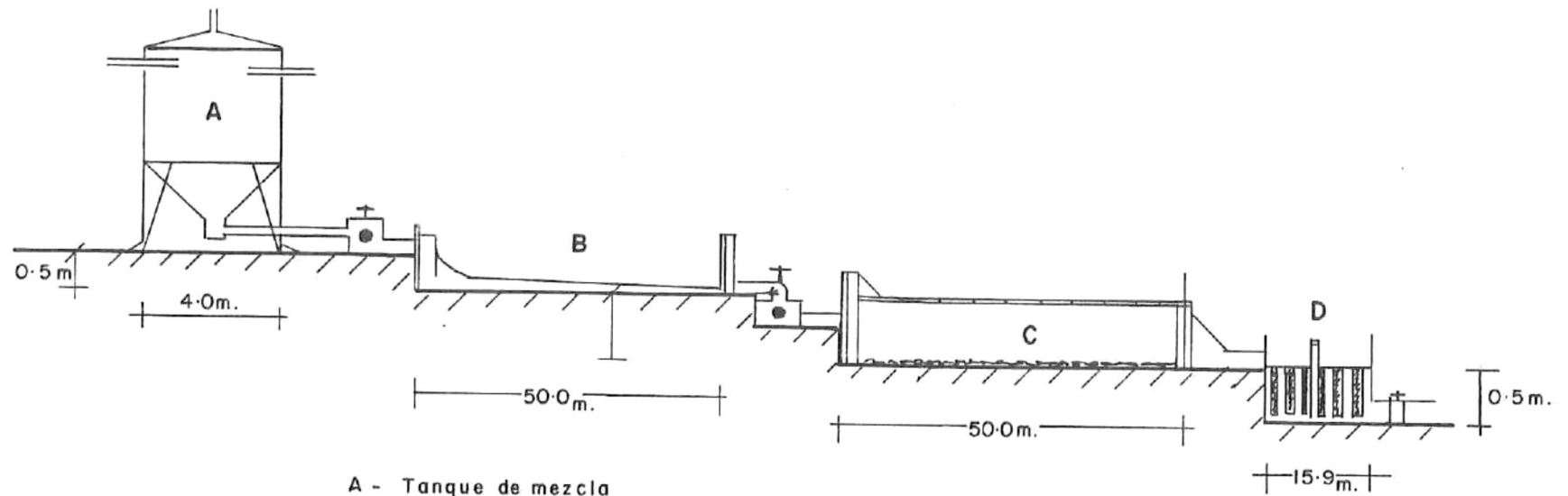


FIG. 27 Diagrama de flujo del sistema de tratamiento (PLANTA).

ESC. APROX. 1:2500



- A - Tanque de mezcla
- B - Tanque de Fitoplankton
- C - Canal de Filtroalimentadores
- D - Tanque de Zargazo

FIG. 28 Diagrama de flujo del sistema de tratamiento (CORTE).

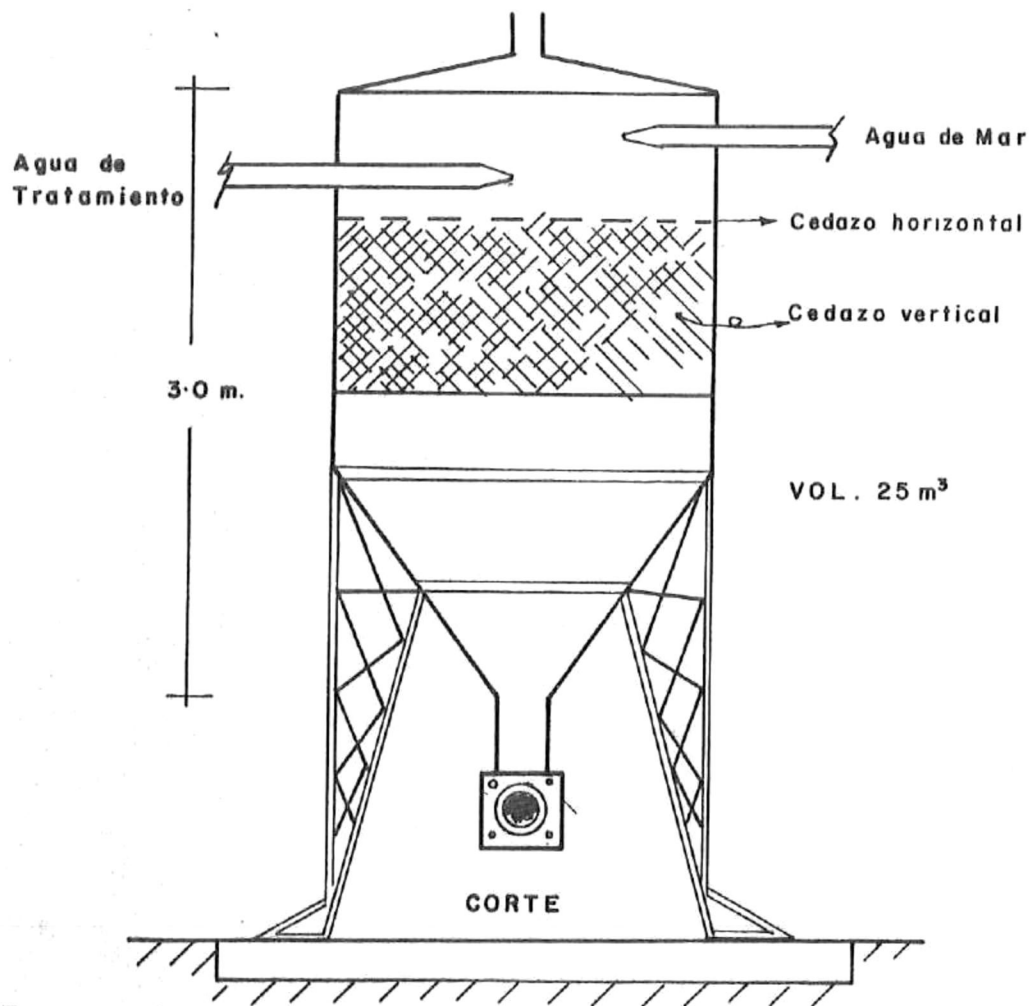
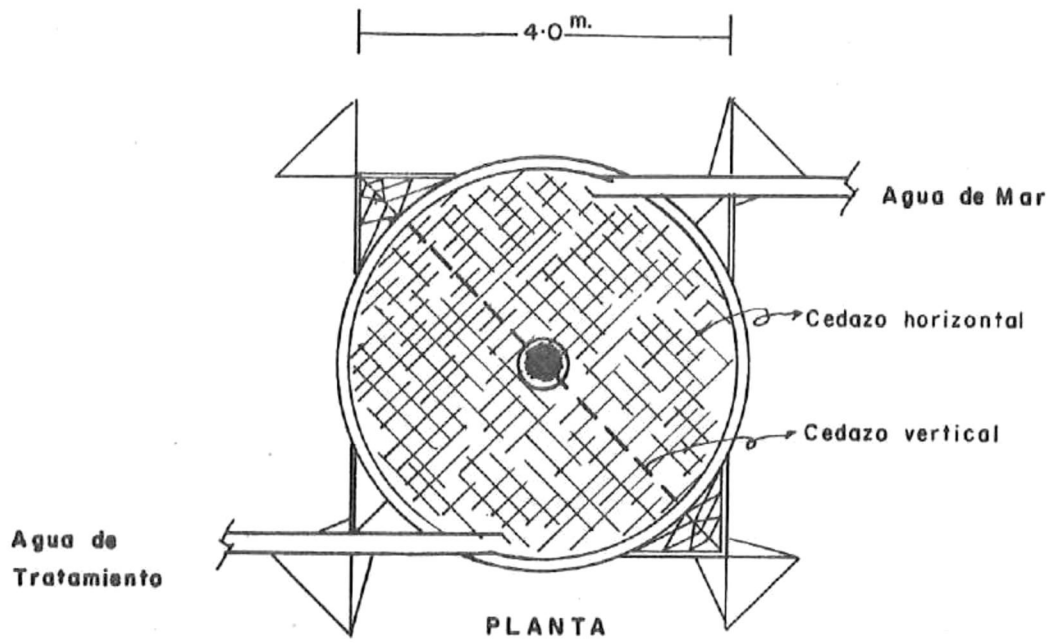


FIG. 29

Ensenada (30°N), alcanza valores de $19 \text{ g/m}^2/\text{día}$ (19 Kg/Ha/día) que se traduce en 10 Kg/Ha/día de ostiones o bivalvos cultivados.

De acuerdo con Goldman y Ryther, un sistema similar aumenta la producción orgánica si la carga de agua de tratamiento aumenta en relación al agua de mar.

La producción anual de bivalvos es $483 \text{ ton}/10^4 \text{ m}^3$ de agua de tratamiento que corresponde a $3.5 \times 10^3 \text{ m}^3$ de ostiones. La productividad de las algas macroscópicas es $10 \text{ g (peso seco)}/\text{m}^2/\text{día}$, que se traduce en una biomasa anual de 35.7 ton/Ha que eliminan 14 ton/Ha/año de nitrógeno, considerando el contenido de nitrógeno orgánico 4% del peso seco sin ceniza (Goldman y Ryther, 1975).

El agua de mar filtrada, almacenada y mezclada en la proporción requerida se administra por gravedad hacia cada tanque de fitoplankton en donde el medio nutritivo y las algas se hacen circular por medio de bombas centrífugas (Fig. 30).

El gasto excedente de los tanques de cultivo pasa por gravedad hacia una caja donde es mezclada con agua de mar en proporción 1:5 (V:V) hasta obtener valores de $10^8 - 10^9/\text{celulas/animal/día}$ que se administra al filtro biológico medio de válvulas independientes para cada canal.

El derrame de los filtros biológicos pasa hacia los tanques de macroalgas que son mantenidos en suspensión y movimiento por una línea de aire y paletas de caucho que giran continuamente.

Los detalles de la forma y dimensiones de los tanques de

cultivo de fitoplankton se muestran en la Fig.30, donde se observan los surcos para facilitar el desgüe rápido auxiliado por la pendiente del fondo. El diseño se hizo en base a las recomendaciones para construcción de estanques de (Schuster, 1952; Delmendo, 1970; Pillay, 1970; Slack, 1974; y Huet, 1975).

Aunque el CO_2 que contiene el agua de mar en solución a 1 m de profundidad, es capaz de mantener una biomasa fotosintética, se prevée un déficit por medio de líneas de aereación en cada surco del fondo del estanque lo cual auxilia en la eliminación del nitrógeno amoniacal a través de circulación y burbujas (Goldman y Ryther, 1975). Los tanques de fitoplankton en estas condiciones, son capaces de eliminar 2.5Kg/estanque/día y en total los 5 eliminan 12.5 Kg de nitrógeno particulado/día, sin contar el que pasa a la atmósfera en forma de NH_4^+ por el pH elevado y la agitación impuesta.

El fondo de los estanques se impermeabiliza con una capa de arcilla y la comunicación entre los estanques adyacentes se impide por medio de un dique separador con centros también de arcilla, construido 20 cm más profundo que la capa impermeable del terreno. La pendiente del fondo no debe ser menor de 1:100 con declive hacia el centro.

Los canales de filtración biológica son estructuras de concreto empotradas en el suelo (Fig.31) y tiene una cámara inicial para acumular potencialmente el agua que sale de la caja mezcladora, esto aumenta el flujo a través de un salto hidráulico que auxilia en la eliminación de los metabolitos

y estimula la filtración de los moluscos, que se disponen en baterías de canastas construídas de madera y malla nylon, en la forma y dimensiones que se indican en el detalle de la Fig. 31.

El fondo de los canales se tapiza con cantos nodados de 1-5 cm y sirven como refugio para los gusanos poliquetos, camarones y cangrejos.

El flujo en los canales no es capaz de abatir por sí solo el DBO y los productos de desecho, por lo que se hace necesario introducir aire a través de tubería a lo largo de todo el fondo. A la salida de los canales existe una compuerta ajustable por placas móviles, para regular el flujo.

El crecimiento de algas epizoicas que estorban a la filtración de los moluscos, se elimina cubriendo los canales con placas de material opaco a la luz.

Los tanques de cultivo de macroalgas (Fig.32) se construyen semi-empotrados en el piso y el material es concreto armado ó fibra de vidrio. En el centro del tanque existe un agitador mecánico con brazos y paletas que mantienen en movimiento y en suspensión a las algas, auxiliadas por la línea de aire que simula las condiciones naturales del habitat infralitoral.

La pendiente del terreno sobre el que se han de construir los estanques del sistema debe poseer una pendiente mínima del 1.0% (Fig.28), para establecer el flujo por gravedad. El desnivel entre los tanques de fitoplankton y los filtros biológicos debe ser de 1 m, para producir la corriente necesaria

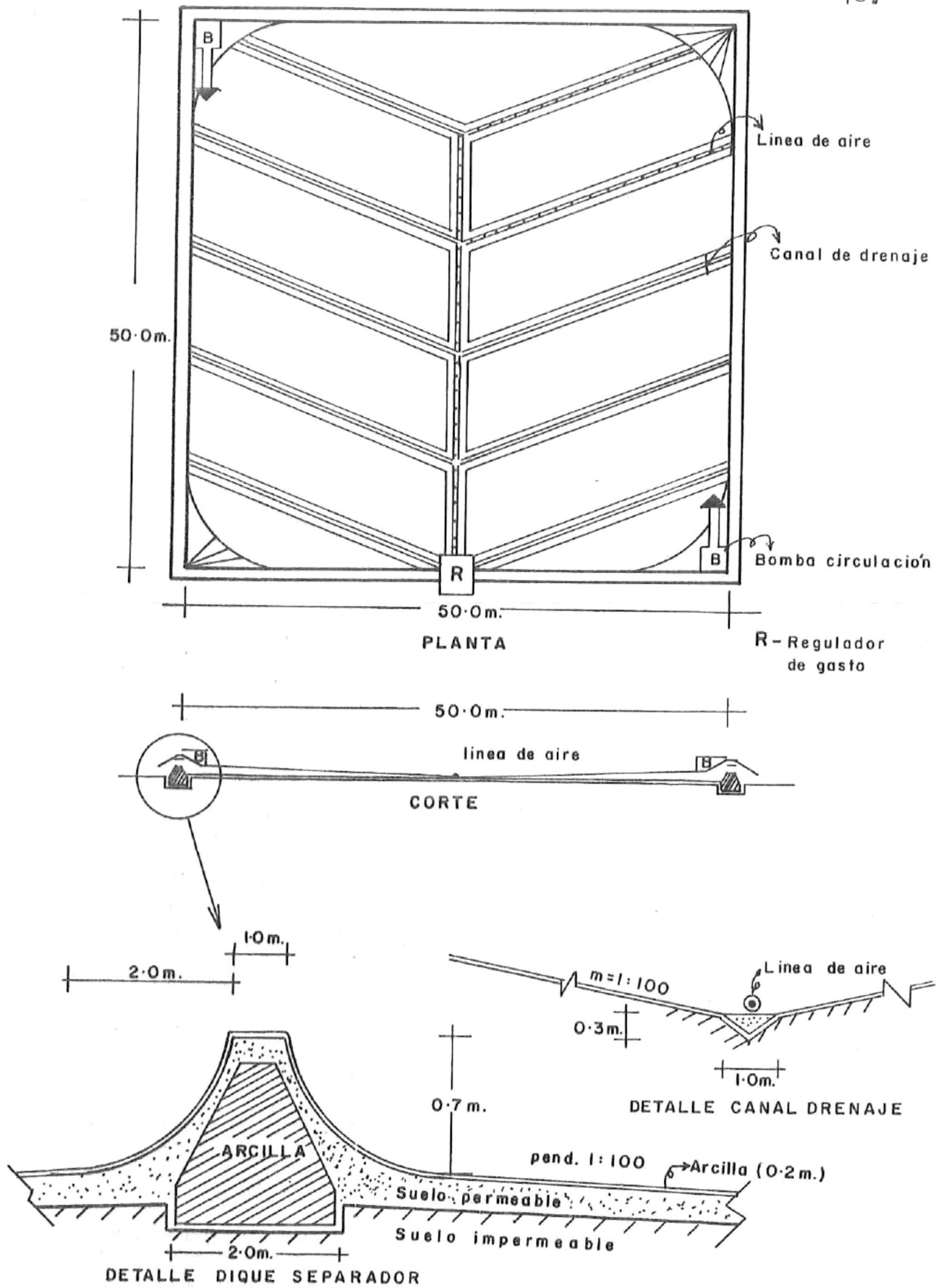


FIG. 30 Tanque de cultivo para Fitoplankton.

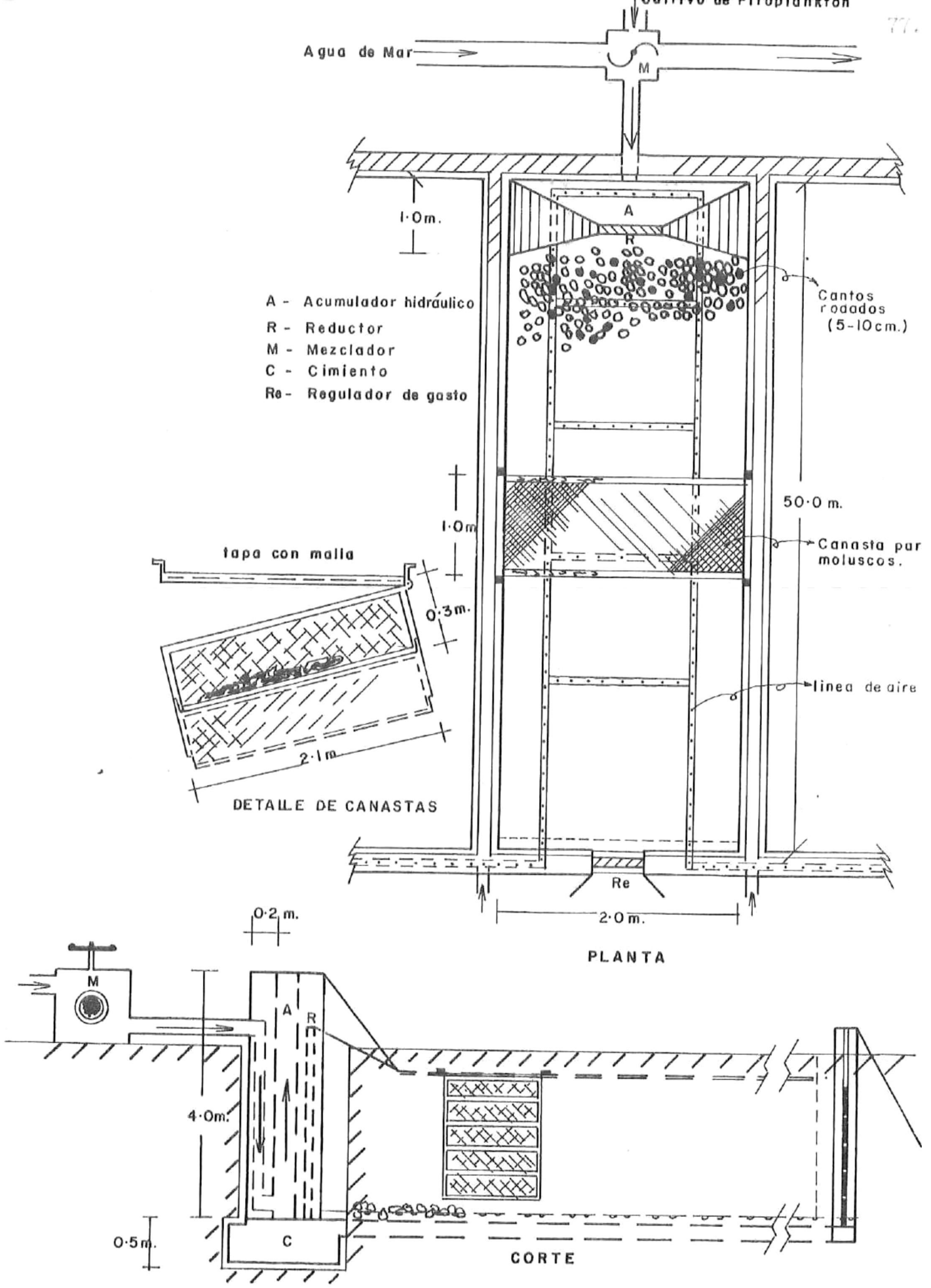


FIG. 31 Canal de Filtroalimentadores.

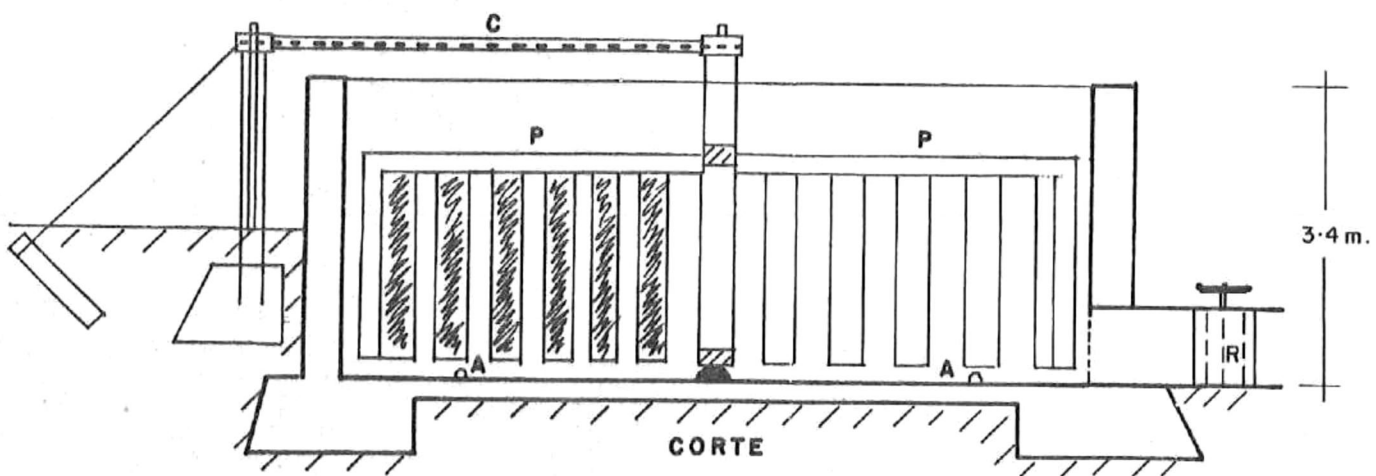
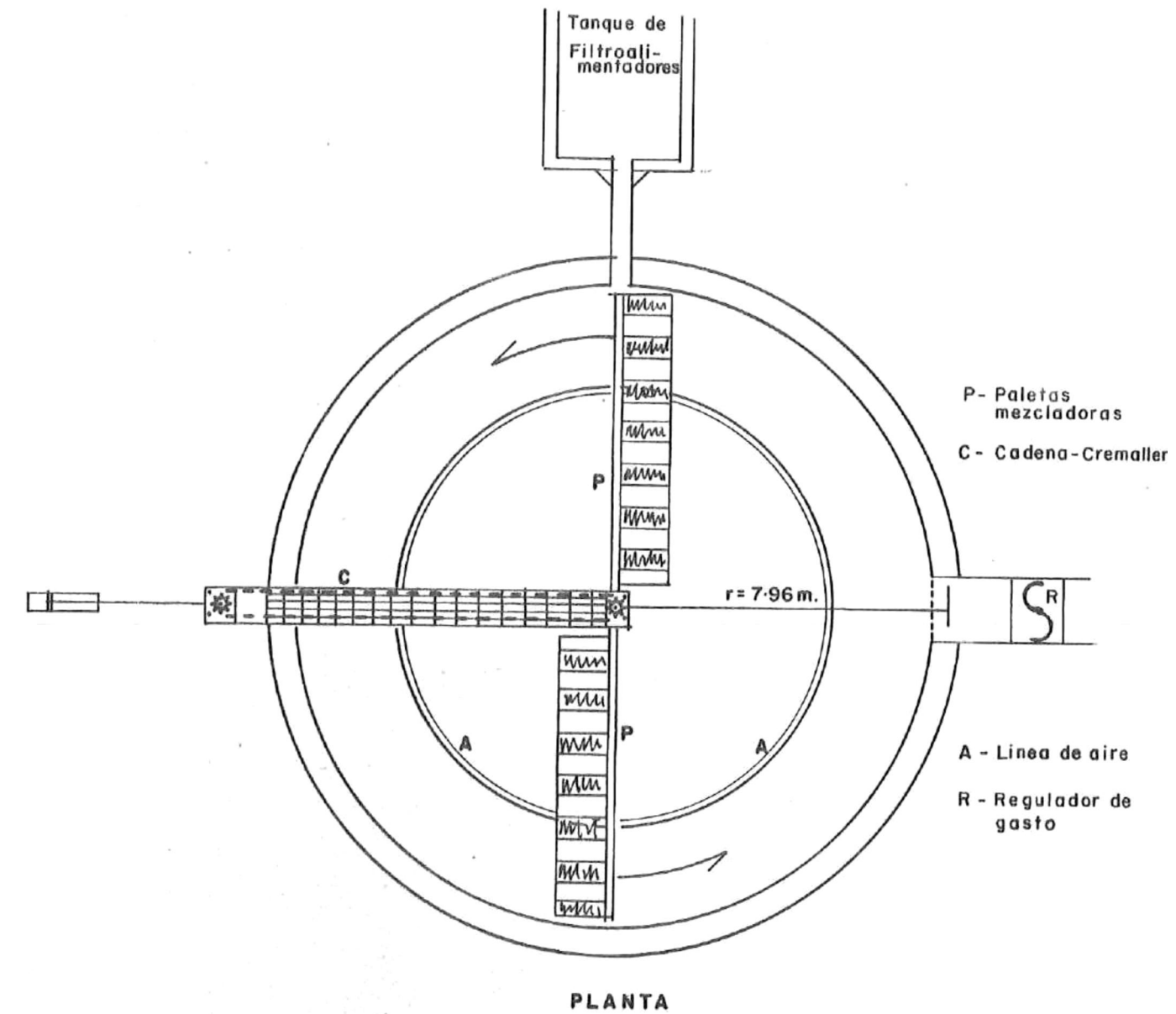


FIG. 32 Tanque de Sargazo.

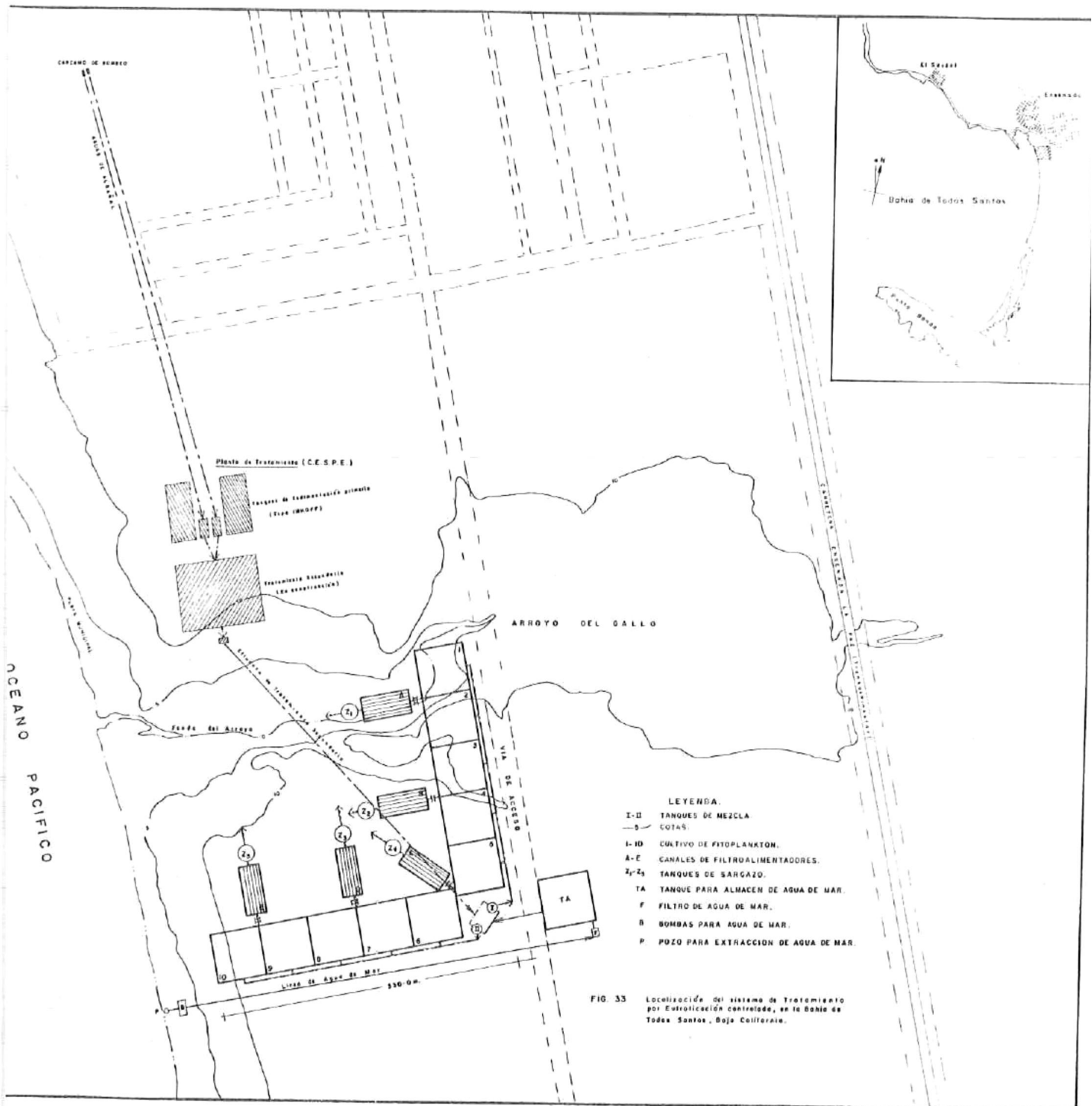
para limpiar los desechos producidos por tal biomasa y mantener un equilibrio que aumenta al incrementar la razón de recambio hidráulico del sistema (Goldman y Ryther, 1975), en el rango de 0.25 - 0.75 del volumen total por día.

La planta de tratamiento que se propone, utiliza agua de mar como estabilizador del pH, provee de los microorganismos productores primarios, sirve para diluir las aguas de tratamiento secundario, acarrea los residuos producidos en los filtros biológicos y provee del oxígeno disuelto para el DBO y la respiración de los animales; es obvio que la localización de un sistema de esta naturaleza se debe instalar lo más cercano al mar, para reducir los costos de bombeo y conducción.

Como el sistema funciona por gravedad en todas sus fases a partir de la mezcla de aguas residual y marina, es necesario contar con una pendiente topográfica adecuada y una área mínima para su ubicación.

Tomando en cuenta que el sistema usa agua de tratamiento como fuente de nutrientes fitoplanktónicos y en base a las consideraciones anteriores; el sitio más adecuado para la instalación se localiza en los terrenos adyacentes a la planta de tratamiento primario y secundario de la ciudad, en la vertiente sur de la desembocadura hacia el mar, del Arroyo El Gallo.

En la Fig.33, se muestran las instalaciones y el diagrama de flujo desde la conexión de los efluentes de tratamiento secundario, hasta la descarga hacia el mar después de fluir



por las etapas del sistema, en el sistema seleccionado para la ubicación de la planta.

La ventaja inmediata (desde el punto de vista ecológico marino) que surge con la instalación de un sistema como el propuesto, es que impide la eutroficación de los cuerpos de agua semicerrados al capturar los nutrientes fotosintéticos de manera total, elimina el aumento de la producción primaria que desencadena desbalances tróficos en los sistemas ecológicos naturales.

Desde el punto de vista práctico la utilización de los desechos aparentemente sin valor, se traduce a una biomasa animal y vegetal de enorme valor alimenticio para el hombre.

Por su ubicación cercana a las fuentes energéticas de la ciudad, permite funcionar continuamente a lo largo del tiempo ya que los sistemas diseñados son múltiples e intercambiables.

Su cercanía a la planta de tratamiento permite una rápida conducción de las aguas residuales sin pérdida ó degradación de nutrientes.

Desde el punto de vista higiénico la planta permite la descarga de las aguas (inicialmente desinfectadas) hacia las zonas costeras, sin peligro de contaminación por bacterias, ya que de acuerdo a Mitchell (1970), Escherichia coli (bacteria coliforme patógena, indicadora de contaminación orgánica), es eliminada en contacto con el agua de mar por el antagonismo entre la microflora marina y las bacterias entéricas, virus y hongos no marinos.

La ventaja estratégica de localizar el sistema diseñado en la desembocadura del Arroyo El Gallo, consiste en poder

captar las aguas residuales de 6 plantas procesadoras de productos marinos, a través de una ampliación del diseño y eliminar con ello el problema de contaminación orgánica que sufre la rada del puerto, agudizado por las corrientes a lo largo de la costa (ver introducción general).

Con el funcionamiento del sistema de eutroficación controlada, es posible pasar de un fondoabiótico ó comunidad supersimplificada, a un fondo hetero-específico normal de flora y faunas oligotróficas.

Desde el punto de vista turístico, la eliminación de sólidos suspendidos en las descargas de las empacadoras y la planta de tratamiento (intermitentemente), redundaría en la desaparición del foco infeccioso bacteriano, viral y micropatógeno que se observa en la Playa Municipal y Playa Hermosa, así como los olores que provienen de la descomposición de proteínas y grasas de los residuos de peces y ganado que forman la descarga. La eutroficación controlada ó policultivo eutrófico es un proceso natural tan antiguo como el océano, con la diferencia que la biomasa producida se administra racionalmente dando como resultado un equilibrio trófico que se traduce en proteína a precio tan bajo que solo constituye el costo inicial de construcción y energía necesaria para bombear las aguas de albañal y marinas hasta un sitio elevado del terreno.

La planta de policultivo representa en si una fuente de trabajo permanente para obreros manuales, calificados y profesionistas tales como Ingenieros Civiles, Fisiólogos, Bioquímicos, Ecólogos, Patólogos, Biólogos, Oceanólogos, etc. que realicen experimentos para optimizar la eficiencia del

sistema; midan el impacto ecológico causado, el valor nutritivo y controlen la higiene de los organismos cultivados.

En relación al peligro de acumulación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en los filtroalimentadores y detritófagos (metales pesados, PCB, DDT, metabolitos, bacterias, virus y hongos), Ryther et. al. (1973) han mostrado que bajo condiciones de cultivo similares no se presentan cantidades detectables de ninguno de los tipos de contaminantes, lo que sugiere una seguridad inicial en el consumo de las especies cultivadas, aunque como seguridad se sugiere el uso de rayos Ultra-violetas, Ozono o Halogenos, para desinfectar y oxidar las aguas de tratamiento antes de mezclarse con agua de mar (Poynter et. al., 1973; Katzenelson et. al., en Berg, 1974).

La producción de la planta de policultivo traducida a divisas alcanza los 14 millones de pesos, distribuidos de la siguiente manera:

- 1.3 millones corresponden al valor de los moluscos bivalvos, con precio unitario de \$1.00 por pieza.
- 10.0 millones, corresponden a los omnívoros detritófagos, con precio unitario de \$3.00 por Kg.
- 2.7 millones, corresponden a los ficocoloides de las algas macroscópicas, con precio unitario de \$500.00/Kg (peso seco).

La desventaja principal que plantea este sistema de tratamiento es la pérdida del agua dulce, ya que al mezclarse con agua de mar pierde su utilidad agrícola y potable.

En la actualidad los residuos de la planta de sedimentación de aguas de albañal, está siendo empleada para el riego

de cultivos agrícolas de poco valor nutritivo, tales como maiz, ya que su uso para el riego de hortalizas y tubérculos está limitado por el peligro de contaminación bacteriana al ponerse en contacto con las aguas sin desinfectar. El transporte de las aguas hacia el Valle de Maneadero por medio de un canal abierto cuya longitud excede a 8 Km, representa una pérdida considerable del volumen total por infiltración y evaporación.

Desde el punto de vista urbanístico la utilización de una área considerable de terreno para los fines propuestos, representa una desventaja relativa para los intereses particulares de los fraccionadores.

El gasto inicial de construcción aunque no es motivo de estudio en este trabajo, puede compararse al de una planta de tratamiento secundario para el mismo volumen de aguas de abastecimiento, con la diferencia que en este caso la inversión no es recuperable a lo largo del tiempo con la venta de los subproductos cultivados.

Cabe decir que todos los sistemas biológicos son susceptibles de falla, debido a la complejidad de sus funciones y al equilibrio dinámico que adquieren bajo condiciones normales y constantes.

De esta manera cualquier contaminante orgánico ó inorgánico presente en cantidades no tolerables por alguna de las etapas en el proceso, puede causar el envenenamiento parcial ó total de la planta. Así la ventaja de usar organismos capaces de extraer nutrientes disueltos en cantidades micro-detectables, tiene el riesgo y la advertencia de tomar mayores precauciones para anticipar fallas inesperadas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

- 1.- El máximo crecimiento obtenido en los bioensayos con fitoplankton se obtuvo con una mezcla de 5 especies cultivadas con aguas de tratamiento primario y secundario diluidos con agua de mar. Las concentraciones máximas obtenidas fueron 2.87×10^6 cel/ml que representa un óptimo bajo las condiciones experimentales.
- 2.- Se concluye que los nutrientes disueltos (N y P) son asimilados por el fitoplankton marino cuando se encuentran en su forma reducida, como se observó para las aguas de tratamiento primario y la primera etapa de tratamiento secundario, dependiendo la utilización de las características fisiológicas de las especies cultivadas.
- 3.- Las inhibiciones registradas en los cultivos se debieron a: colonias fungiformes que provocan un desbalance del sistema amortiguador del pH que hacen descender los valores; residuos de clorinación.
- 4.- La disponibilidad de los nutrientes limitantes en los medios de cultivo, determina la sucesión poblacional del fitoplankton a lo largo del tiempo y esta sucesión es función del estado de oxidación de los nutrientes y de las especies presentes en la mezcla.
- 5.- El sistema diseñado es capaz de producir una biomasa total de 3.46×10^5 ton/año cuyo valor neto estimado es 14×10^6 pesos.
- 6.- La materialización del concepto "eutroficación controlada" a través de un sistema de policultivo como el diseñado, es

capaz de retener los nutrientes inorgánicos que producen la hiperfertilización de los cuerpos receptores acuáticos, favoreciendo el restablecimiento del balance original de las comunidades marinas y produciendo materia orgánica utilizable como alimento humano.

- 7.-Aunque las plantas de tratamiento convencionales son capaces de eliminar el 90 -95% del DBO, el 30 - 40% del fósforo y nitrógeno (Olson, 1967), la eutroficación se produce sin embargo, ya que las descargas del tratamiento son capaces de sostener una biomasa cuyo DBO es varias veces mayor que el valor inicial para las aguas sin tratar.
- 8.-La Ingeniería Sanitaria tradicional considera el crecimiento fitoplanktónico dentro de los tanques de estabilización (tratamiento terciario) como un problema sin solución fácil por la regeneración de nutrientes y células suspendidas que se descargan hacia los cuerpos receptores (Holcomb, 1970). Con la eliminación del carbón, nitrógeno y fósforo particulados a través de organismos filtroalimentadores, se plantea una nueva perspectiva para eliminar nutrientes producidos por bacterias químico - sintéticas.
- 9.-La solución total del problema de contaminación por materia orgánica y nutrientes en la Bahía de Todos Santos, se visualiza a través de la construcción de 2 plantas de tratamiento terciario, una localizada en el Arroyo El Gallo y otra en El Sauzal de Rodríguez, que sean capaces de asimilar las descargas de 11 plantas procesadoras de alimentos y las producidas por los desechos urbanos descargados hacia el mar y hacia el Valle de Maneadero.

10.- El proyecto presentado en incumbencia con el reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas; cuya aplicación compete al Ejecutivo Federal por conducto de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), en coordinación con la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), editada en el diario oficial de la Federación el 29 de marzo de 1973 (aplicable a los 60 días posteriores a su publicación); esta apoyado por el Art. 5 y se aplica de inmediato a las descargas vertidas a la bahía de acuerdo al Art. 26. De acuerdo al Art. 28, se aplica colectivamente para el ajuste de las descargas de las 6 industrias procesadoras y la planta de sedimentación en el Arroyo El Gallo, El Sauzal y la rada del puerto. Todas las descargas violan los Art. 24 (b, c, e, h) en que se prescriben los valores máximos permisibles para los parámetros a que se refieren los incisos. Incumbe en la aplicación de los Art. 27 y 29. Contribuye a lo dispuesto en el Art. 35, referente a métodos, sistemas, equipos y aditamentos novedosos para prevenir y controlar la contaminación. Su aplicación evita las sanciones impuestas sobre los responsables de las descargas, calificadas de acuerdo a las condiciones del Art. 58 (I,II). Cumple totalmente con el Art. 66 al manifestar la naturaleza, volumen y calidad de las aguas descargadas en la bahía, haciendo proceder la aplicación automática de los Art. 67, 68, y 69.

- 11.- Se recomienda a la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE), el acoplamiento del sistema diseñado a las descargas producidas por las aguas de albañal después de ser pasadas por tratamientos primario, secundario y desinfección por Ozono (Poynter et. al., 1972; Katzenelson, en Berg, 1974).
- 12.- Se recomienda a los responsables de las 11 descargas principales que vierten hacia la bahía, por el Arroyo El Gallo, la rada del puerto y El Sauzal; construir plantas de tratamiento primario cuyos desechos se utilicen en un sistema de policultivo.
- 13.- Se recomienda al Centro de Salud de Ensenada (SSA), la inspección reiterada de las descargas en las áreas recreativas y pesqueras de la bahía, ya que de acuerdo con el Art. 42 de la mencionada ley, actualmente se hace necesario tomar medidas para proteger la salud de la población que utiliza las aguas y litorales para esos fines.
- 14.- Se recomienda la construcción y funcionamiento de las plantas de policultivo a través de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), por medio de la Dirección de Acuacultura del Estado, en coordinación con la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE), bajo asesoría funcional de la sección de Maricultura de la Escuela Superior de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California, y bajo control sanitario de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA).

- Antia N.J. y J. Kalmakoff (1975). Growth rates and cell yields from axenic mass culture of fourteen species of marine phytoplankters. Fish. Res. Bd. Canada, Manuscript Report series, 203. 23pp.
- Ansell A.D., J.E.G. Raymont, K.F. Lander, E. Crowley y P. Shackley (1963). Studies on the mass culture of Phaeodactylum. II. The growth of Phaeodactylum and other species in outdoor tanks. Limnol. Ocean. 8:184-207.
- Ansell A.D., J.E.G. Raymont y K.F. Lander (1963). Studies on the mass culture of Phaeodactylum. III Small scale experiments. Limnol. Ocean. 8:207-213.
- Bechtel T.J. y B.J. Copeland (1970). Effects of pollution on fish species diversity in Galveston Bay, Texas. FAO Technical Conference on Marine Pollution and its Effects on Living resources and Fishing. FIR:MP/70/E-71. 9pp.
- Berg G.(Ed.)(1974). Viruses in waste renovated and other waters. U.S. Environmental Protection Agency, Publ. 690/9-75-007.
- Chan G.L. (1974). The use of pollutants for aquaculture conditioning of wastes for aquaculture. FAO Indopacific Fisheries Council Proc. 15a sesión 18-27 Oct. 1972, Wellington Nueva Zelanda.
- Chen, Carl W. (1970). Effects of San Diego's wastewater discharge on the ocean environment. WPCF. 42(8):1458-1467.
- Chesnut, A.F. (1971). Use of treated sewage in aquaculture. World Mariculture Society Workshop. 5pp.
- Delmendo, M.N., P.E. Osborn, R. Halili y E. Martinez (1970). Construction of ponds for aquaculture. Panfletos Mimeografiados de la 14a Sesión del Indo Pacific Fisheries Council, Bangkok, Tailandia, 18-27 Nov.

- Dunstan, W.M. y D.W. Menzel (1971). Continuous cultures of natural populations of phytoplankton in dilute, treated sewage effluent. *Limnol. Ocean.* 16(4):623-632.
- Dunstan, W.M. y K.R. Tenore (1972). Intensive outdoor culture of marine phytoplankton enriched with treated sewage effluent. *Aquaculture.* 1:181-192.
- Fair, G.M., J.C. Geyer y D.A. Okun (1968). Water and waste water engineering. II Water purification and wastewater treatment and disposal. John Wiley & Sons, Inc.
- Food Chain Research Group (1975). Algal culturing media (formula) used for the collection. Apendice del Folleto Mimeografiado; responsable: J.B. Jordan 2116 SVH., SIO., La Jolla, Calif.
- Food Chain Research Group (1975). Algal culture collections. Institute of Marine Resources UCSD; Responsable: J.B. Jordan 2116 SVH., SIO., La Jolla Calif.
- Goldman, J.C., K.R. Tenore, J.H. Ryther y N. Norwin (1974). Inorganic nitrogen removal in a combined tertiary treatment (marine aquaculture system) II. Algal bioassays. *Water Research.* 8:55-59.
- Goldman, J.C. y J.I. Stanley (1974). Relative growth of different species of marine algae in wastewater-seawater mixtures. *Mar. Biol.* 28:17-25.
- Goldman, J.C., J.H. Ryther y L.D. Williams (1975). Mass production of marine algae in outdoor cultures. *Nature*, 254 (5501):594-595.
- Goldman, J.C. y J.H. Ryther (1975). Nutrient transformation in mass culture of marine algae. *J. Environ. Engine. Div. ASCE*, 101(EE3), Proc., papel 11358:351-364.
- Golubic S. (1969). Effect of organic pollution on benthic communities.

- Grigg, R.W. y R.S. Kiwala (1970). Some ecological effects of discharged wastes on marine life. Calif. Fish and Game, 56(3):145-155.
- Holcomb, R.W. (1970). Waste water treatment: The tide is turning. Science, 169:457-459.
- Homma, A., M.D. Sobsey, C. Wallis y J.L. Melnick (1973). Virus concentration from sewage. Water Research, 7:945-950.
- Huet M. (1970). Textbook of fish culture, breeding and cultivation of fish. Fishing News Ltd. Surrey England. 436pp.
- Hunter R.D. y B.J. Fairless (1972). Waste water treatment: The tide is turning. Science. 169:457-459.
- International Symposium on Eutrophication, Rohlich G.A. (chairman) (1969). Eutrophication: causes, consequences, correctives. Proc. Symp. Eutroph., Natl. Acad. of Sci. Washington D.C.
- Lewin, R.A. (1962). Physiology and biochemistry of algae. Acad. Press., N.Y. y London.
- Lizárraga-Partida, W.L. (1973). Contribución al estudio de los vermes anélidos poliquetos como indicadores de contaminación orgánica. Tesis para obtener el título de Oceanólogo de la Universidad Autónoma de Baja California, en Ensenada.
- Lizárraga-Partida, M.L. (1974). Organic pollution in Ensenada Bay, México. Mar. Pollution Bull. 5(7):109-112.
- Loosanoff, V.L. (1942). Use of complete fertilizers in cultivation of microorganisms. Science 95:487-488.
- Mc Shaw M., N.M. Trieff y D. Grajcer (1973). Biological treatment of wastewater using algae and Artemia.

- Mitchell, R. (1970). Antagonism of the native microflora to microbial pollutants in the sea. FAO Technical Conference on Marine Pollution and its Effects on Living Resources and Fishing. FIR MP/70/E-26.
- Myers, J. y J. Graham (1959). On the mass culture of algae II. yield as a function of cell concentration under continuous sunlight irradiance. *Plant Physiol.* 34:345-352.
- Odum, O.P. (1971). *Fundamentals of ecology* 3a Ed. W.B. Saunders Co. Philadelphia, London y Toronto.
- Olson T.A., F.J. Burgess (Eds.) (1967). *Pollution and marine ecology*. Interscience Publishers, John Wiley & Sons. New York; London, Sidney. 374 pp.
- O'Sullivan, A.J. (1971). Ecological effects of sewage discharge in the marine environment. *Proc. Roy. Soc. Lond.* 177:331-351.
- Parsons, T. y M. Takahashi (1973). *Biological oceanographical processes*. Perg. Press. 186pp.
- Pillay, T.R.V. Ed., V.G. Jhingran, B.B. Pakrasi, R.K. Banerjee y A. Moitra (1970). Observations in a pilot fish farm in Lower Sunderbans. Indo Pacific Fish. Council. Symp. on Coastal Aquaculture, Bangkok Thailandia, 18-27 Nov.
- Platt, T., R.J. Conover, R. Loucks, K.H. Mann, D.L. Peer, A. Prakash y D.D. Sameoto (1970). Study of a eutrophicated marine basin. FAO Tech. Conf. on Mar. Poll. FIR MP/70/E-70.
- Poynter S.F.B., J.S. Slade y H.H. Jones (1973). The disinfection of water with special reference to viruses. *Appl. Microbiol.*, 24:194-208.
- Ravena U. (1965). A simple method for the mass culture of marine algae. *Limnol. & Ocean. Notes and Comment* : 492-495.

- Ricketts, E.F., I. Calvin y W. Hedgpeth (1970). Between Pacific tides. Stanford Univ. Press. Calif. 614pp.
- Rodina, A.G. (1972). Methods in aquatic microbiology. Univ. Park Press, 461pp.
- Ryther, J.H. (1969). Photosynthesis and fish production in the sea. Science 166;72-76.
- Ryther, J.H. (1975). Preliminary results with a pilot plant waste recycling marine aquaculture system. Int. Conf. on the Renov. and Reuse of Wastewater Through Aquatic and Terrestrial Systems, Rockefeller Foundation, Bellagio, Italia.
- Ryther, J.H. (1975). Mariculture systems uses wastes to make food. New England Marine Resources Information.
- Ryther, J.H., W.M. Dunstan, K.R. Tenore y J.E. Huguenin (1972). Controlled eutrophication -increasing food production from the sea by recycling human wastes. Bio Science 22(3);144- 152.
- Ryther, J.H., K.R. Tenore, J.C. Goldman, N. Corwin, J.E. Huguenin, C.E. Gifford y J.M. Vaughn (1973). The use of flowing biological systems in aquacultures, sewage treatment, pollution assay and food- chain studies. Progress Report NSF-RAN GI/32140, Jan-Dec.
- Ryther, J.H., J.C. Goldman, C.E. Gifford, J.E. Huguenin, A.S. Wing, J.P. Clarner, L.D. Williams y B.E. Lapointe (1975). Physical models of integrated waste recycling-marine policultures system. Aquaculture, 5:163-177.
- SCCWRP (1973). The ecology of the southern California bight: implications for water quality management.
- SCCWRP (1974). Coastal water research project, annual report. Southern Calif. Coast. Water Res. Proj. 30 Jun.
- SCCWRP (1975). Coastal water research project, annual report. Southern Calif. Coast. Water Res. Proj. , 30Jun.

- Schuster, W.H. (1952). Fish culture in brckish-water ponds of Java. FAO Indo Pacific Fisheries Council. Special Publications 1.
- Secretaría de Marina, DGOSP (1974). Estudio geográfico de la región de Ensenada, B.C. 463pp.
- Shuval, H.I. , M. Asce, A. Thompson, B. Fattal, S. Cymbalista y Y.Wiener (1971) Natural virus inactivation processes in sea water. J. Sanit. Engine. Div. SA 5(8427):587-600.
- Simmonds, M.A. (1973). Experience with algal blooms and the removal of phosphorous from sewage . Water Res. 7:255-264.
- Slack, E.B. (1974). Sewage and aquacultural production. FAO Indo Pacific Fisheries Council, Proc. 15a Sesión 18-27 Oct. Wellington, Nueva Zelandia.
- Spotte, S. (1970). Fish and invertebrate culture. Water Management in Closed Systems. Wiley-Interscience, Wiley & sons, Inc. 145pp.
- Sverdrup, U.H., M.W. Johnson y R.H. Fleming (1942). The oceans, their physics, chemistry and general biology. Prentice Hall Inc. N.J. 1087pp.
- Teoh, B.L. (1974). Ecological conditions for successful culture of fish in sewage pond effluents. FAO Indo Pacific Fisheries Council, Proc 15a sesión , 18-27 Oct. Wellington, Nueva Zelandia.
- Ukeles, R. (1965). A simple method for the mass culture of marine algae. Limnol. Ocean. (?):492-495.
- Vaughn J.M. y J.H. Ryther (1974). Bacteriophage survival patterns in a tertiary treatment-aquaculture model system. Aquaculture, 4:399-406.

Warren, C.E. (1971). Biology and water pollution control.

W.B. Saunders Co. 434pp.

Woods Hole Oceanographic Institution (1973-74) Marine resources development and management; Annual Sea Grant Rep.

Yospe-Purer, Y. y H.I. Shuval (1972). Salmonellae as bacterial indicator organisms in polluted coastal water. Marine Pollution and Sealife, Fishing News Ltd. London.

Zats, V.I. (1970). Experimental studies of horizontal diffusion in the Black Sea Coastal Zone. FAO FIR:MP/70/E-48, 7pp.

A G R A D E C I M I E N T O S

La elaboración de este trabajo ha sido producto, no solo del esfuerzo propio, sino el de todas la persona que de manera altruista han proporcionado apoyo para su integración.

Quiero agradecer al Dr. Andrew A. Benson, no solamente por haberme permitido usar material y equipo del laboratorio a su cargo, en Scripps Institution of Oceanography (SIO), sino, más que todo por el auxilio intelectual que me ha brindado a lo largo de los últimos años; al Dr. John S. Patton, por sus críticas y consejos en el campo científico y por su amistad; al Sr. James Jordan, por su valiosa cooperación en la selección de especies de la colección de microalgas bajo su custodia en el Food Chain Research Group de SIO; al Q.F.B. Ricardo Suárez, por su apoyo moral y el uso de su laboratorio y equipo personal; a mi condiscípula Rosa María Hernández por la proporción de valiosos datos no publicados, parte de su Tesis Profesional en preparación; a la srte. María Martha Vidal, por haberse atrevido a desenmarañar, traducir y mecanografiar el manuscrito, ocupando parte de su tiempo de descanso; al Distrito Hidráulico de Santee, California, por los datos de la Bitácora de Control y Muestras obtenidas; Al Instituto Mexicano del Seguro Social y al Centro de Salud de Ensenada, por la proporción de datos estadísticos; al Dr. Jaques Patrois, que ha simpatizado, motivado, revisado, corregido y dirigido esta Tesis, de manera desinteresada y bajo un ambiente de amistad y camaradería sinceros; de manera especial al M. en C. George Hemingway, que a lo largo de los últimos años me ha enseñado la disciplina científica y que inicialmente aceptó

la dirección de este trabajo y que desafortunadamente tuvo que ser completado por su ausencia de la Docencia de la Escuela Superior de Ciencias Marinas.

Agradezco también a todos los que se opusieron ó entorpecieron a la realización de este proyecto, pues motivaron el amor propio, representando un reto más para continuar y poder colocar este punto final.