

Distribución temporal de las características Físico-Químicas y Biológicas de las aguas de algunos ecosistemas acuáticos del Bajo Guadalquivir (SW. España) a lo largo de un ciclo anual

POR

C. MONTES (1), J. A. AMAT (2)
y L. RAMIREZ-DÍAZ (3)

RESUMEN

A lo largo de un ciclo anual se estudia la variación temporal de cuatro parámetros físicos: temperatura, transparencia, nivel y profundidad del agua; ocho parámetros químicos: cloruros, sólidos disueltos, pH, reserva alcalina, oxígeno disuelto, fósforo, nitrógeno y silicio; dos parámetros biológicos: clorofila «a» e índice de Pigmentos D_{430}/D_{665} , en cuatro ecosistemas acuáticos de gran interés en el área del Bajo Guadalquivir: Lucio del Aro y Caño Travieso (marisma), Laguna de Santa Olalla (arenas de la zona peridunar) y Laguna de Santa Olalla (arenas de la zona peridunar) y Laguna de Medina (endorreísmo bético).

Los tres primeros medios acuáticos están localizados dentro del Parque Nacional de Doñana.

El ciclo estudiado corresponde a los años 1977 y 1978.

Se obtienen valores medios y de dispersión de los parámetros ambientales considerados, así como la evolución de los mismos a lo largo del

- (1) Departamento de Zoología. Facultad de Ciencias. Universidad de Murcia.
- (2) Unidad de Ecología y Etología. Estación Biológica de Doña. Sevilla-12.
- (3) Departamento de Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad de Murcia.



período del estudio. Los resultados se interpretan en relación con las interacciones dinámicas entre los componentes abióticos y bióticos del ecosistema.

RÉSUMÉ

On a étudié, pendant un cycle annuel, la variation temporelle de quatre paramètres physiques: température, transparence, niveau et profondeur de l'eau huit paramètres chimiques: chlorures, solidez dissous, pH, réserve alcaline, oxygène dissous, phosphore, nitrogène et silice, et deux paramètres biologiques: chlorophylle «a» et index de pigments D_{430}/D_{665} , dans quatre écosystèmes aquatiques de gran intérêt, dans la zone du Bas-Guadalquivir: Lucio del Aro et Caño Travieso (marais), Lacune de Santa Olalla (sables de la zone peridunaire) et Lacune de Medina (secteur endoréique bétique).

Les trois premiers appartiennent au territoire occupé par le Parc National de Doñana.

La période d'étude a compris le cycle annuel entre les années 1977-1978.

On a obtenu les valeurs moyennes et de dispersion des paramètres du milieu considérés, ainsi que leur évolution pendant la période d'étude. Les résultats peuvent être interprétés en rapport aux interactions dynamiques dans les composantes abiotiques et biotiques de l'écosystème.

1. INTRODUCCION

Los factores físico-químicos de cualquier cuerpo de agua dependen de la naturaleza de las rocas y de los suelos de la zona, de los factores climáticos, de la calidad y cantidad del agua de entrada, de los componentes bióticos y del manejo humano. Se deben considerar a los medios acuáticos como sistemas dinámicos, en los que los organismos no sólo son afectados por las condiciones físico-químicas, sino que también sus comunidades pueden afectar profundamente la calidad de sus aguas. Por consiguiente, no es posible abordar ningún estudio completo de Limnología sin tener en cuenta estas dos componentes, la físico-química y la biótica del ecosistema.

Un estudio de la calidad de las aguas en ecosistemas de marismas y lagunas de zonas endorreicas, caracterizados por la poca profundidad de sus aguas, se traduce en una interacción intensa y permanente entre distintos parámetros físico-químicos del agua y los cambios que se estable-

ce en los sedimentos. La materia orgánica en estos medios, sea autóctona o alóctona, es muy inestable y se descompone en muy poco tiempo (Tourenq, 1975). Por tanto, la película superficial de los fondos donde se encuentra concentrada la mayor parte de los microorganismos, va a ser la sede de reacciones bioquímicas muy importantes como producción de CO_2 , desprendimiento de SH_2 , formación de metano, desnitrificación, etc. La salinidad y la naturaleza de los fondos, son los factores abióticos más importantes que rigen la composición faunística de las comunidades bentónicas de las aguas salobres y la repartición general de las especies (Petit, 1954).

A pesar de la importancia ecológica de los sistemas acuáticos continentales de aguas someras (MAB, 1974) en la Península Ibérica han sido objeto de escasos estudios limnológicos intensivos, aunque nuestro país afrece una extensa riqueza en este tipo de ecosistemas («limnología de las masas de aguas modestas», Margalef, 1951).

Respecto a estudios sobre ciclos anuales de características físico-químicas en estos tipos de sistemas acuáticos caben destacarse Dafauec (1975), Sáez-Royuela (1977), Comín y Ferrer (1979).

Este trabajo forma parte de un estudio limnológico realizado en el Bajo Guadalquivir —incluyendo el Parque Nacional de Doñana—, que constituye una de las zonas húmedas más importantes de Europa.

El objeto del trabajo ha consistido en el análisis de las variaciones temporales y las relaciones entre una serie de parámetros físico-químicos y biológicos en cuatro ecosistemas acuáticos representativos de la zona de estudio.

Los resultados obtenidos sirven para el conocimiento de las interrelaciones entre las características físico-químicas y biológicas de las aguas del estuario del Bajo Guadalquivir y lagunas periféricas de la zona endorreica Bética. También sirven como soporte científico para poder evaluar los efectos del manejo humano en las intervenciones de regularización, canalización y extracción de agua (Grande Covián, 1978), que están teniendo lugar en dicha zona, y que ponen en peligro la estructura y el funcionamiento de sus ecosistemas.

2. MATERIAL Y METODOS

Los cuatro cuerpos de agua estudiados se sitúan en cada uno de los tres grandes sectores ambientales, delimitados en función del origen y naturaleza de sus cubetas, que comprende el territorio del Bajo Guadalquivir prospectado (Montes, 1980).

El Lucio del Aro y Caño Travieso en el sector de marisma, la Laguna de Santa Olalla en la zona peridunar del cordón litoral dentro del sector de arenas de distinto origen y tipología y la Laguna de Medina en el sector endorreico Bético (fig. 1).

Una descripción de las características morfoestructurales y de la vegetación de estos ecosistemas acuáticos puede encontrarse en Montes (1980).

En cada estación durante los años 1977 y 1978 se tomaron mensualmente muestras de agua en la hidrofase (Heyny, 1971), por considerarse la zona de mayor homogeneidad abiótica.

En total se analizaron 17 parámetros físico-químicos y 2 biológicos que se enumeran en la tabla 1, indicando unidades, método de medida y referencia bibliográfica.

Los resultados de las medidas realizadas durante el estudio se engloban en cuatro matrices correspondientes a cada una de las cuatro estaciones y que se presentan en el Apéndice (Matriz 1 = Laguna de Santa Olalla; Matriz 2 = Lucio del Aro; Matriz 3 = Caño Travieso; Matriz 4 = Laguna de Medina).

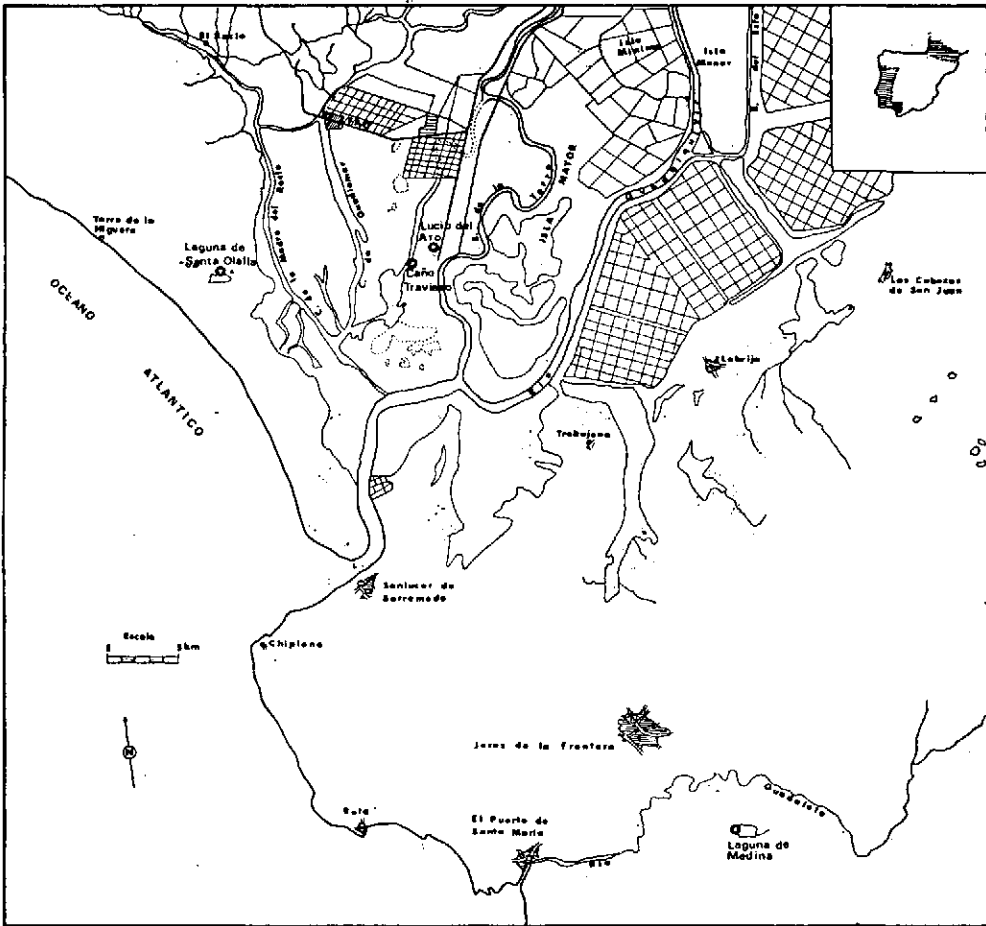


FIGURA 1. Localización geográfica de las cuatro estaciones de muestreo.

TABLA 1

UNIDADES, METODOS Y REFERENCIA BIBLIOGRAFICA UTILIZADA EN LA MEDIDA DE LOS PARAMETROS FISICO-QUIMICOS Y BIOLÓGICOS ESTUDIADOS

| <i>Parámetro</i> | <i>Unidades</i> | <i>Método</i> | <i>Referencia</i> |
|--|-------------------|--|------------------------------------|
| FISICOS | | | |
| Temperatura instantánea del aire y agua. | °C | Termómetros de mercurio —5 a 60 °C. | Mortimer (1953). |
| Temperatura máxima y mínima | °C | Termómetros máxima y mínima —5 a 50 °C. | Mortimer (1953). |
| Transparencia superficial del agua. | cm | Disco de Secchi. | Monteith (1973). |
| Nivel del agua. | m | Cinta métrica. | |
| Profundidad en el lugar de toma de la muestra. | cm | Metro rígido. | |
| QUIMICOS | | | |
| pH. | pH | pH-metro Beckman-electrometer. | |
| Alcalinidad. | meq/l | Volumétrico (Sulfúrico + indicador mixto). | Golterman, Clymo y Ohnsted (1978). |
| Cloruros. | µg/l | Volumétrico (Nitrato de plata + cromato potásico). | A.P.H.A. (1976). |
| Sólidos disueltos. | µg/l | Filtración. | Catalan (1969). |
| Oxígeno. | mg/l | Volumétrico (Iodometría). | Winkler (Carpenter, 1965). |
| Saturación oxígeno. | % | Indirecto. | Tourenq (1975). |
| Ortofosfato. | µg-at/l | Colorimétrico. | Murphy y Riley (1962). |
| Nitratos. | µg-at/l | Colorimétrico. | Morris y Riley (1963). |
| Nitritos. | µg-at/l | Colorimétrico. | Strickland y Parson (1968). |
| Silicatos. | µg-at/l | Colorimétrico. | Mullin y Riley (1955). |
| BIOLÓGICOS | | | |
| Clorofila «a». | mg/m ³ | Filtración (extracto metanólico). | Tallin y Driver (1963). |
| Índice de pigmentos. | | D ₄₃₀ /D ₆₆₅ . | Margalef (1960). |



3. RESULTADOS Y DISCUSION

I. FACTORES FÍSICOS

I.1. Temperatura

Los valores de la temperatura superficial del agua a lo largo del ciclo estudiado fueron elevados, debido a la baja profundidad de estos medios y al clima de la zona. En las tablas 2 y 3 se presentan los valores medios, máximos y mínimos de las temperaturas máximas y mínimas para alguna de las estaciones estudiadas (Laguna de Medina, Caño Travieso, Laguna de Santa Olalla). Aunque fueron colocado termómetros de máxima y mínima en las cuatro estaciones estudiadas, los cambios bruscos de nivel y profundidad del agua junto con la textura del suelo, impidió encontrar alguno de ellos, por lo que la estación del Lucio del Aro y parte de los meses de la Laguna de Santa Olalla carecen de registros.

TABLA 2

ESTADISTICOS MAS IMPORTANTES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TIPICA (s) Y RANGO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL MAXIMA DEL AGUA PARA LAS TRES ESTACIONES DE MUESTREO (LAGUNA DE MEDINA, CAÑO TRAVIESO, LAGUNA DE SANTA OLALLA), DURANTE EL CICLO 1977/78. SE EXPRESA ENTRE PARENTESIS LOS MESES QUE REGISTRARON LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE FUERON ELABORADOS LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máximo | Mínimo |
|-------------------------|-----------|-------|----|-----------------------|--------------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 26,67 | 6,54 | 15 | 39,0 (Agosto 1978) | 18,0 (Enero 1978) |
| Laguna de Santa Olalla. | 29,37 | 10,34 | 8 | 39,0 (Julio 1978) | 11,0 (Diciembre 1978) |
| Caño Travieso | 25,65 | 9,20 | 8 | 39,0 (Julio 1978) | 11,0 (Enero 1978) |

TABLA 3

ESTADÍSTICOS MAS IMPORTANTES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TIPICA (s) Y RANGO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL MÍNIMA DEL AGUA PARA LAS TRES ESTACIONES DE MUESTREO (LAGUNA DE MEDINA, CAÑO TRAVIESO, LAGUNA DE SANTA OLALLA), DURANTE EL CICLO 1977/78. SE EXPRESA ENTRE PARENTESIS LOS MESES QUE REGISTRARON LOS VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS. SE INDICA EL NÚMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE FUERON ELABORADOS LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máximo | Mínimo |
|-------------------------------|-----------|------|----|-----------------------|-------------------------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 13,73 | 4,33 | 15 | 20,0 (Agosto 1978) | 7,0 (Diciembre 1977, Enero 1978) |
| Laguna de Santa Olalla | 10,00 | 2,26 | 8 | 14 (Octubre 1977) | 7,0 (Febrero 1978) |
| Caño Travieso .. | 11,13 | 5,64 | 8 | 19,0 (Julio 1978) | 3,0 (Enero 1978) |

En las figuras 2, 3 y 4 se representa la evolución temporal de la temperatura superficial del agua (medias y amplitudes mensuales) de cada una de las tres estaciones. A partir de estos registros temporales, se pueden diferenciar tres períodos térmicos.

— Un período frío, desde noviembre a febrero, con rangos de temperatura entre 3 y 20° C.

— Un período templado, desde marzo a mayo, con rangos de temperatura entre 10 y 30° C.

— Un período cálido, desde junio a octubre, con rangos de temperatura entre 15 y 39° C.

Se puede apreciar cómo la disminución de la temperatura en otoño se realiza de una forma gradual y no bruscamente. Esta es una característica de las lagunas costeras del Mediterráneo, en el que el largo período cálido y la disminución gradual de su temperatura permite sostener bastante tiempo la continuidad de la producción otoñal de estas lagunas (Sacchi, 1967).

La temperatura superficial del agua presenta fuertes oscilaciones a lo largo del ciclo anual. Puede variar desde unos pocos grados durante los períodos de heladas, en los que se forman pequeñas capas de hielo poco frecuentes, localizadas y de escasa duración, hasta los 40° C durante el último mes de permanencia del agua.

En general, en los cuerpos de aguas poco profundos pero extensos, no se desarrolla una estratificación térmica (Smid y Priban, 1978), principalmente debido al efecto de mezclado del viento y oleaje superficial,

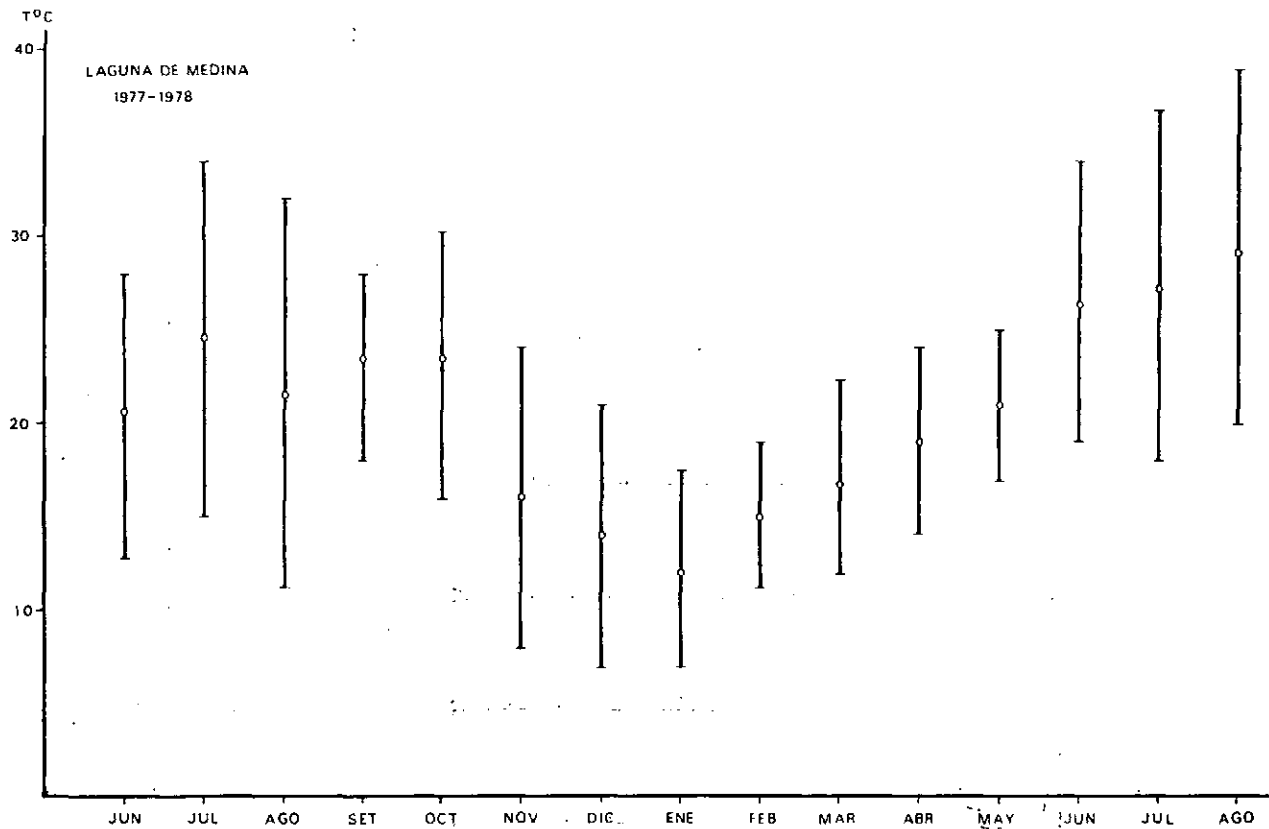


FIGURA 2. Distribución mensual de la temperatura superficial, media y amplitud (máxima y mínima) del agua para la estación de muestreo de la Laguna de Medina, durante el ciclo 1977/78.

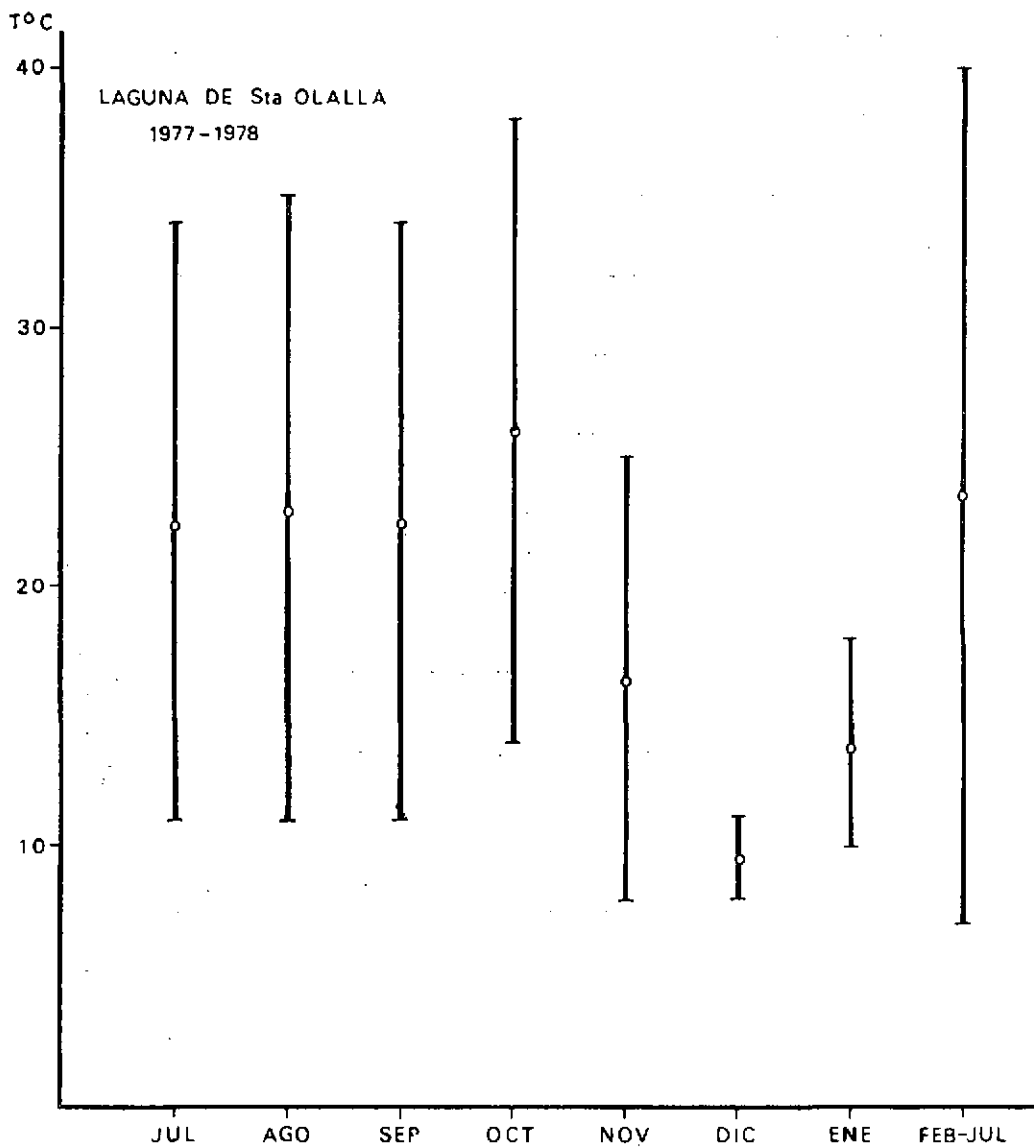


FIGURA 3. Distribución mensual de la temperatura superficial, media y amplitud (máxima y mínima) del agua para la estación de muestreo de la Laguna de Santa Olalla, durante el ciclo 1977/78.

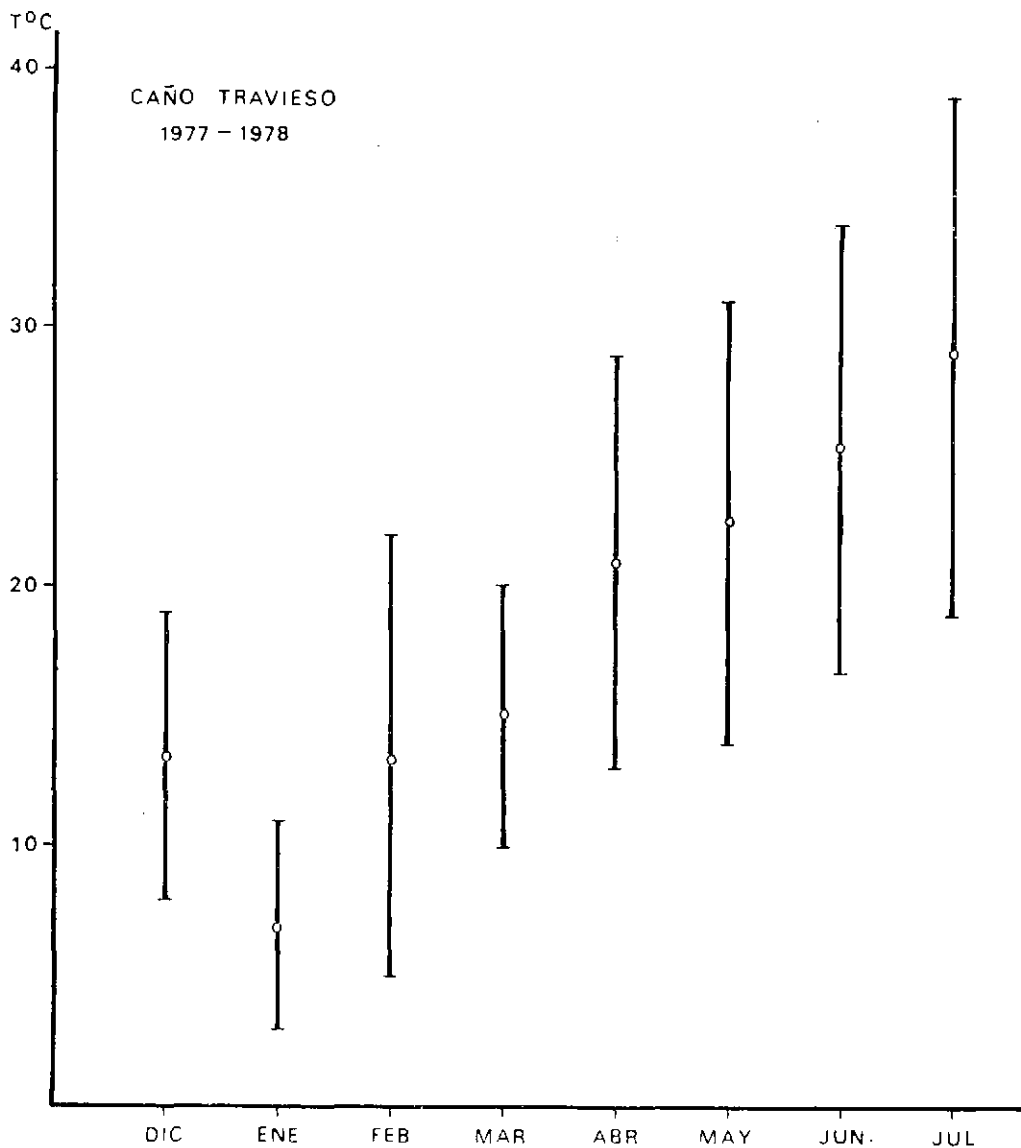


FIGURA 4. Distribución mensual de la temperatura superficial, media y amplitud (máxima y mínima) del agua para la estación de muestreo de Caño Travieso, durante el ciclo 1977/78.

pero en cuerpos de aguas resguardados, poco profundos y pequeños, sí se ha podido detectar una marcada estratificación térmica (Martín, 1972). En las marismas de Camargue (Delta del Ródano, Francia) se puede observar a partir de los meses de marzo-abril una estratificación térmica dentro de ciertas condiciones, principalmente una profundidad aproximada de 2 m, y una densa vegetación flotante, que impide la penetración de los rayos solares y amortigua la acción de los vientos. Aparte de la estratificación de la temperatura, también pueden detectarse variaciones verticales de oxígeno y pH (Champeau, 1966; Tourenq, 1975). Aunque en este estudio no se han registrado medidas de temperatura de los fondos, es probable que exista este tipo de estratificaciones en determinados medios, como en el caso de algunas zonas profundas en la zona de marisma con una vegetación densa flotante de *Ranunculus baudotii* charcas profundas y permanentes de las arenas estabilizadas con aguas turbias debido a su alto contenido de materia en suspensión, y en lagunas fuertemente eutrofizadas del cordón litoral.

En las figuras 5, 6, 7 y 8 se representa la variación mensual de la medida puntual de la temperatura del aire y del agua en cada toma de las muestras, para cada una de las estaciones estudiadas.

1.2. *Transparencia*

El grado de penetración de la luz es un factor que actúa como limitante de la producción primaria, ya que delimita la zona donde puede realizarse la fotosíntesis.

La estima de este factor se realizó mediante el método visual de medida de la transparencia del agua por el disco de Secchi. Su valor depende fundamentalmente de la materia en suspensión y de la concentración de pigmentos fotosintéticos.

Dentro de los distintos medios acuáticos estudiados en nuestra zona, tan sólo en las charcas profundas del sector de arenas, con alto contenido de materia en suspensión, y lagunas del sistema peridunar, este factor puede actuar como limitante de la producción.

La Laguna de Santa Olalla es la única de las estaciones fijas en las que el grado de penetración de luz parece jugar un papel importante para la producción de sus aguas. Los niveles de profundidad determinados por la visibilidad del disco de Secchi oscilan, a lo largo del ciclo estudiado, desde 80 cm en enero hasta un valor mínimo de 4 cm en noviembre, con un valor medio de 24,23 cm ($s = 23,23$; $n = 13$). Su variación temporal

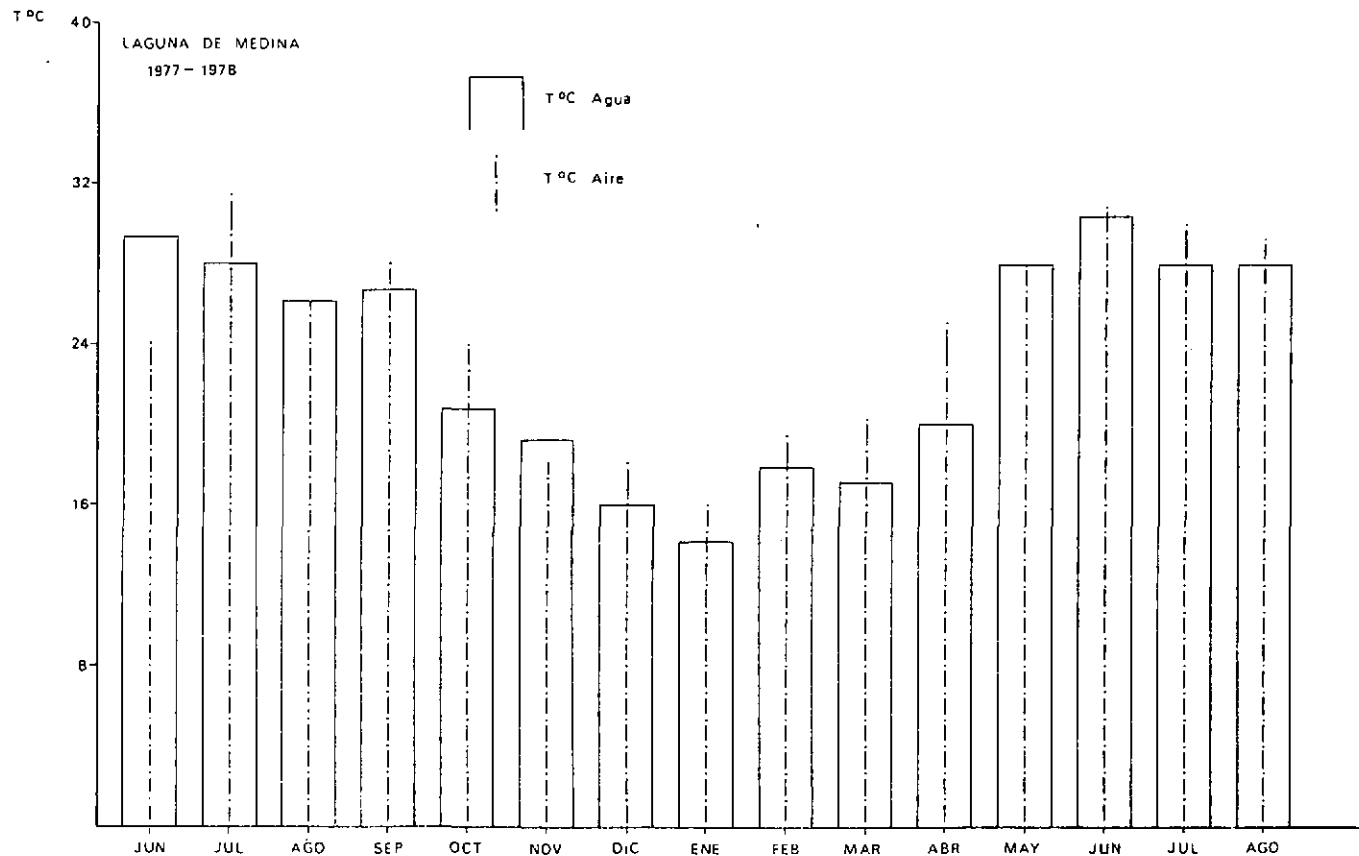


FIGURA 5. Distribución mensual de la temperatura instantánea superficial del aire y del agua durante el ciclo 1977/78, para la estación de muestreo Laguna de Medina.

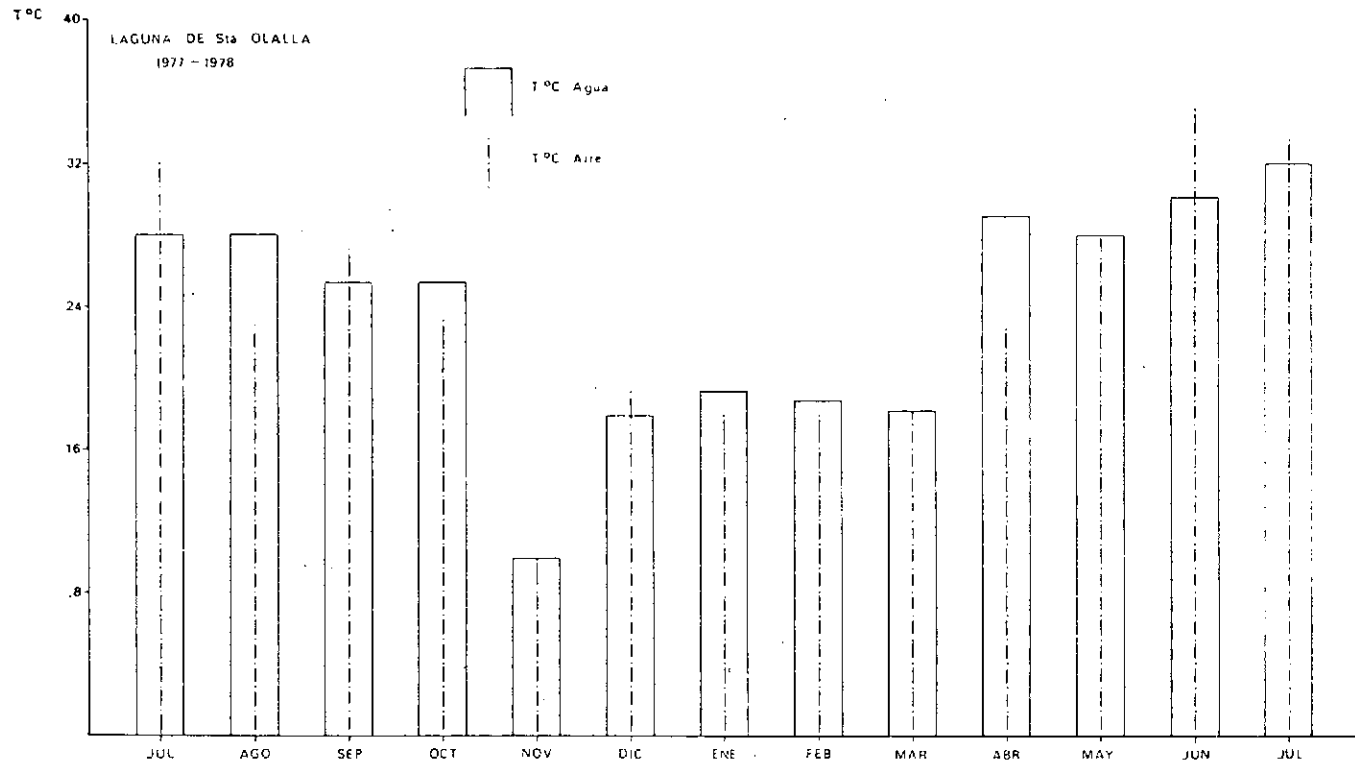


FIGURA 6. Distribución mensual de la temperatura instantánea superficial del aire y del agua durante el ciclo 1977/78, para la estación de muestreo Laguna de Santa Olalla.

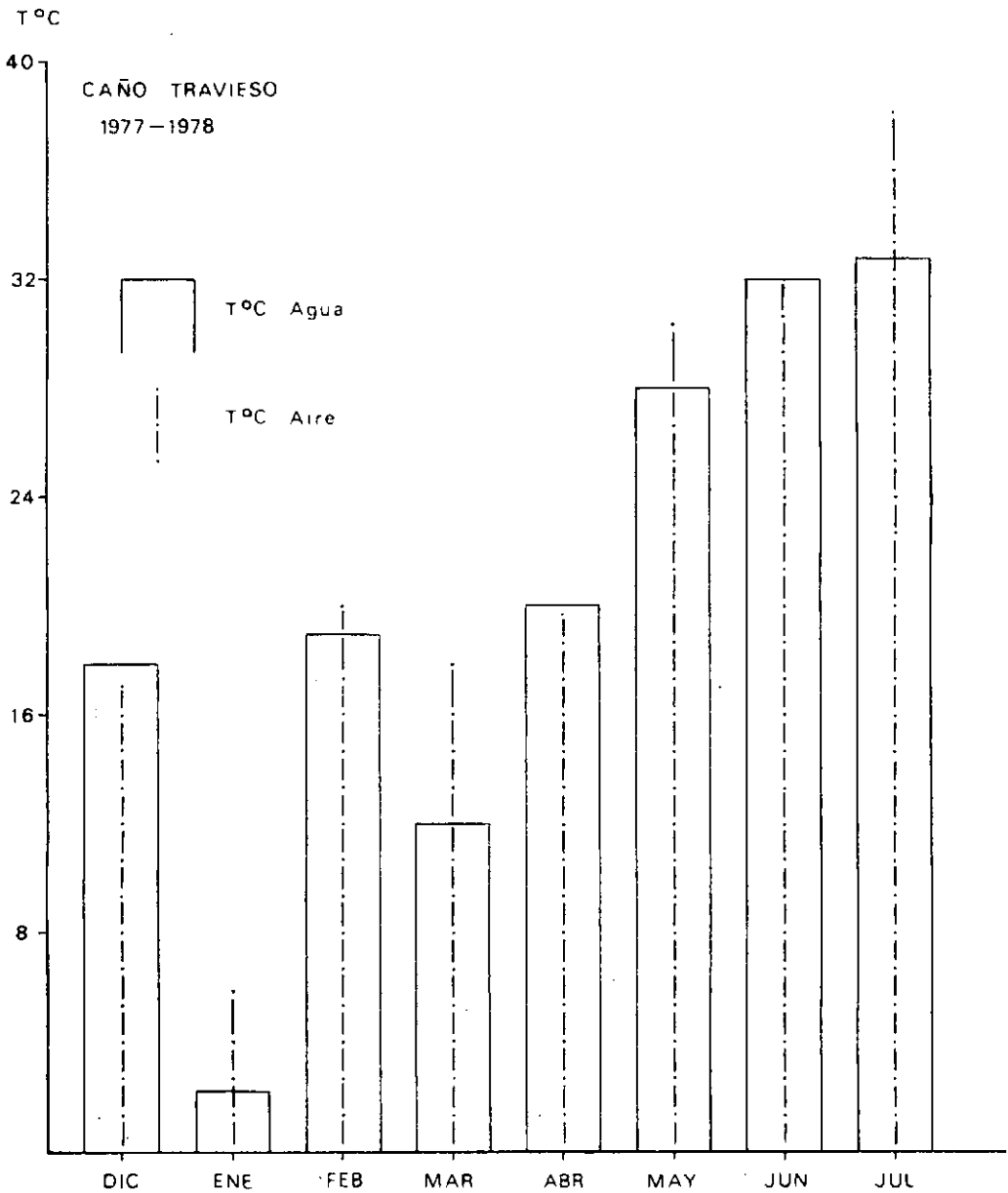


FIGURA 7. Distribución mensual de la temperatura instantánea superficial del aire y del agua durante el ciclo 1977/78, para la estación de muestreo Caño Travieso.

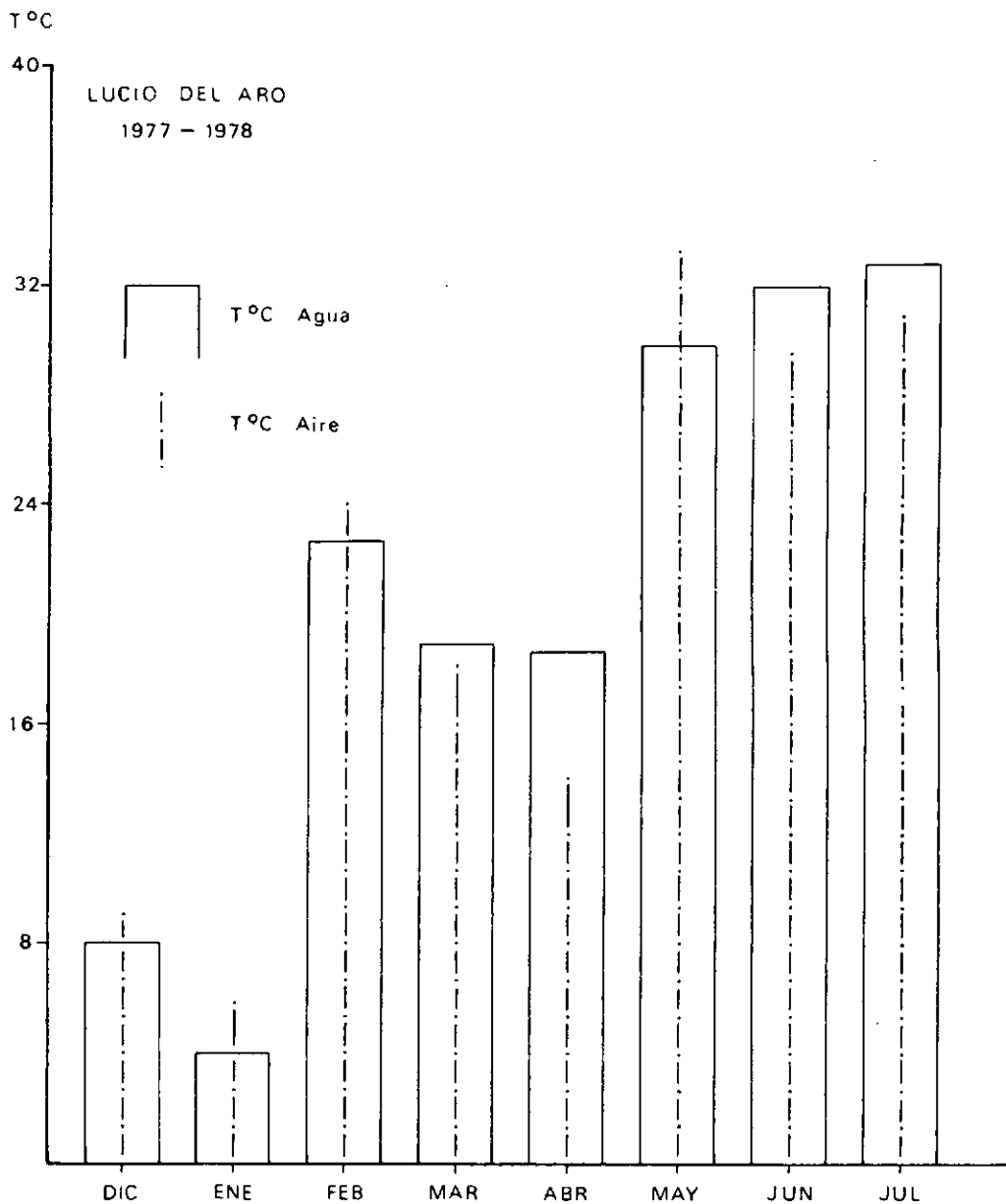


FIGURA 8. Distribución mensual de la temperatura instantánea superficial del aire y del agua durante el ciclo 1977/78, para la estación de muestreo Lucio del Aro.

se representa en la figura 9. Esta distribución anual de la transparencia, a pesar del alto contenido de materia en suspensión que poseen sus aguas y las diferencias de nivel que presentan, se encuentra íntimamente ligada a la concentración de pigmentos fotosintéticos, muy elevada durante los períodos de producción (desde agosto a octubre).

El coeficiente de correlación entre la transparencia del agua y la concentración de clorofila «a» es negativo y altamente significativo, $r = -0,82$ ($P \leq 0,01$).

El cálculo del nivel de compensación, o límite de la zona eufótica para la Laguna de Santa Olalla, se realizó a partir de la expresión

$$I_z = I_0 e^{-Kz}$$

donde I_z es la intensidad de la luz a una profundidad z ; I_0 es la intensidad en superficie, y K es el coeficiente de extinción, que es igual al cociente entre una constante y la profundidad en metros a la que el disco deja de verse. La constante oscila entre 0,61 y 1,9 (Otto, 1966), con un valor de 1,7 en las aguas marinas (Margalef, 1972). Se efectuó el cálculo suponiendo el límite de la zona eufótica a la profundidad en que la luz es menor de 1 % de la que incide. Para el ciclo en estudio, el límite de la zona eufótica dio un amplio rango, oscilando entre 0,11 m y 2,2 m. Se utilizó un valor de $K = 1,7$.

I.3. Nivel del agua y profundidad

Como puede apreciarse en las figuras 10, 11, 12 y 13, el nivel del agua y la profundidad son muy variables a lo largo del ciclo anual en las cuatro estaciones de muestreo estudiadas. Su distribución temporal se encuentra estrechamente ligada a la precipitación mensual sobre todo en la Laguna de Medina, Lucio del Aro y Caño Travieso y, de una forma algo irregular en la Laguna de Santa Olalla. La no coincidencia de ambos factores, nivel del agua y precipitación, en algunos meses, sobre todo en la última laguna, puede deberse, por una parte, a la distribución de las lluvias durante el mes y la fecha de la toma de la muestra, la cual siempre se realizaba en la última semana del mes, y por otra, a la entrada de agua; así, en Santa Olalla, además del agua de lluvia que cae sobre la laguna, hay también un aporte directo por la capa freática dunar y, después de las fuertes lluvias, durante un cierto tiempo, se establecen pequeños arroyos sobre las arenas, que pueden comunicar varias de las lagunas de la cadena del sistema dunar.

Aunque la profundidad media se refiere a la máxima apreciada en el

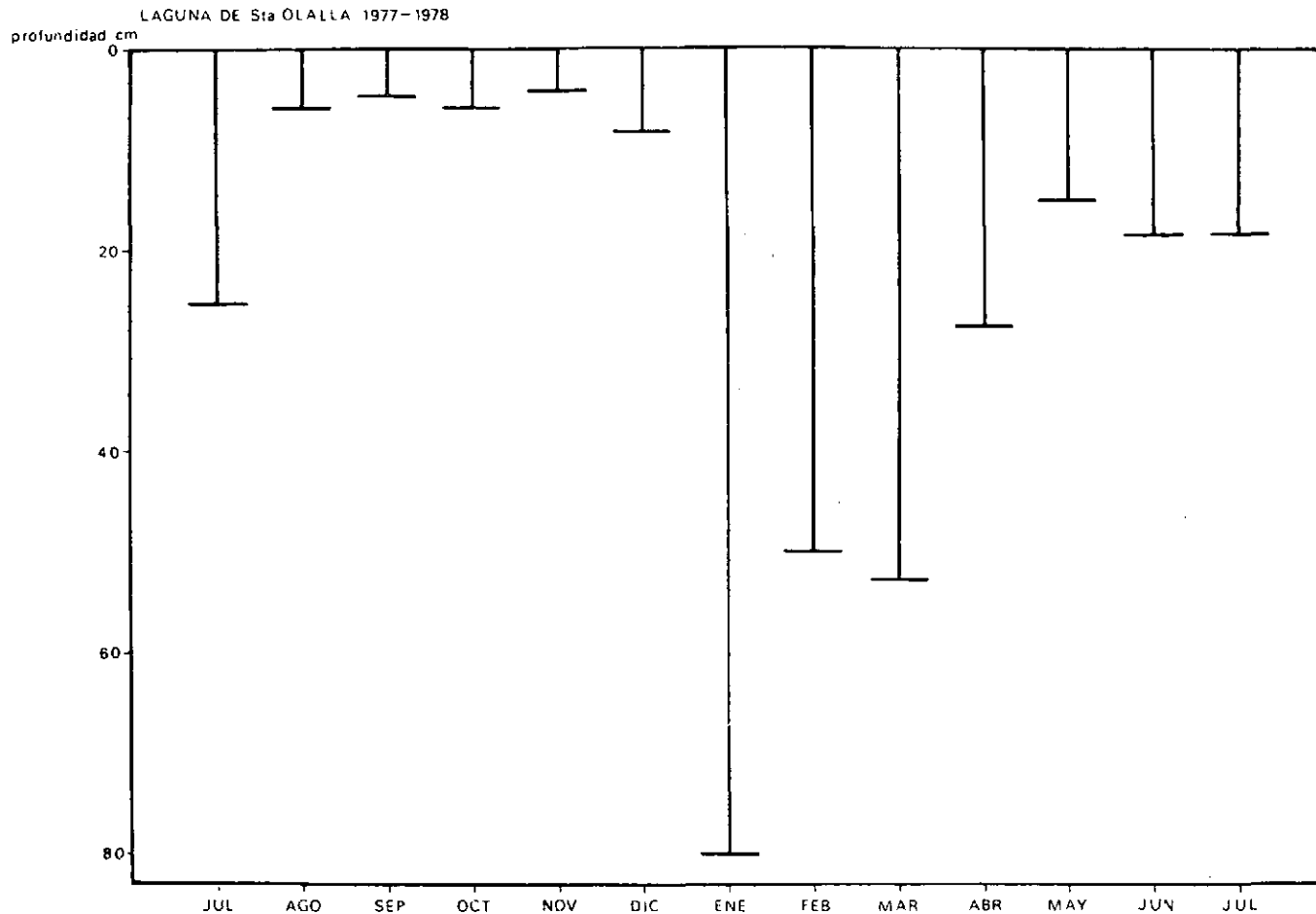


FIGURA 9. Distribución mensual de la transparencia estimada mediante el disco de Secchi en la Laguna de Santa Olalla durante 1977/78.

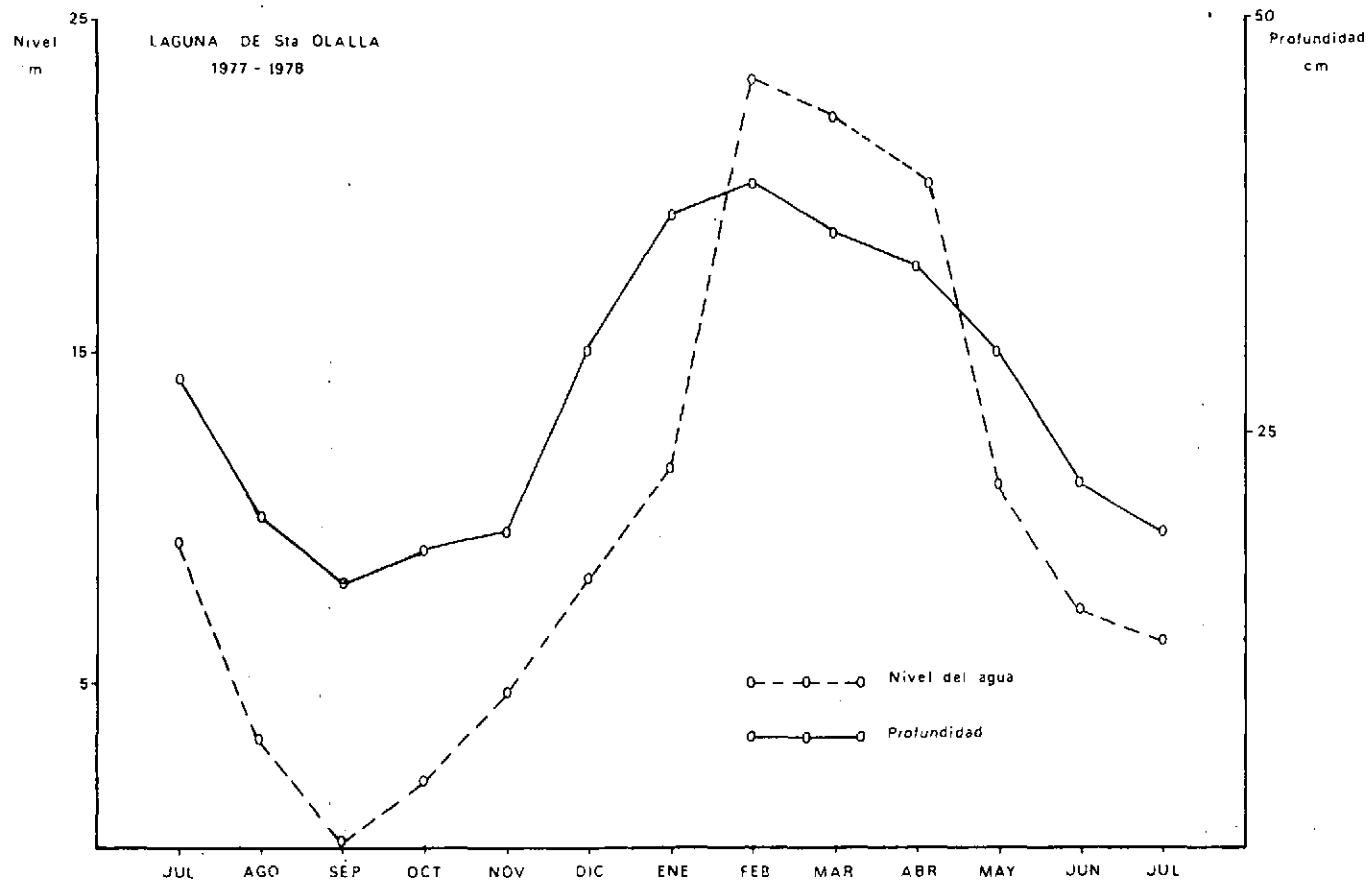


FIGURA 10. Distribución mensual de la profundidad y nivel del agua durante el ciclo 1977/78 para la estación de muestreo Laguna de Santa Olalla.

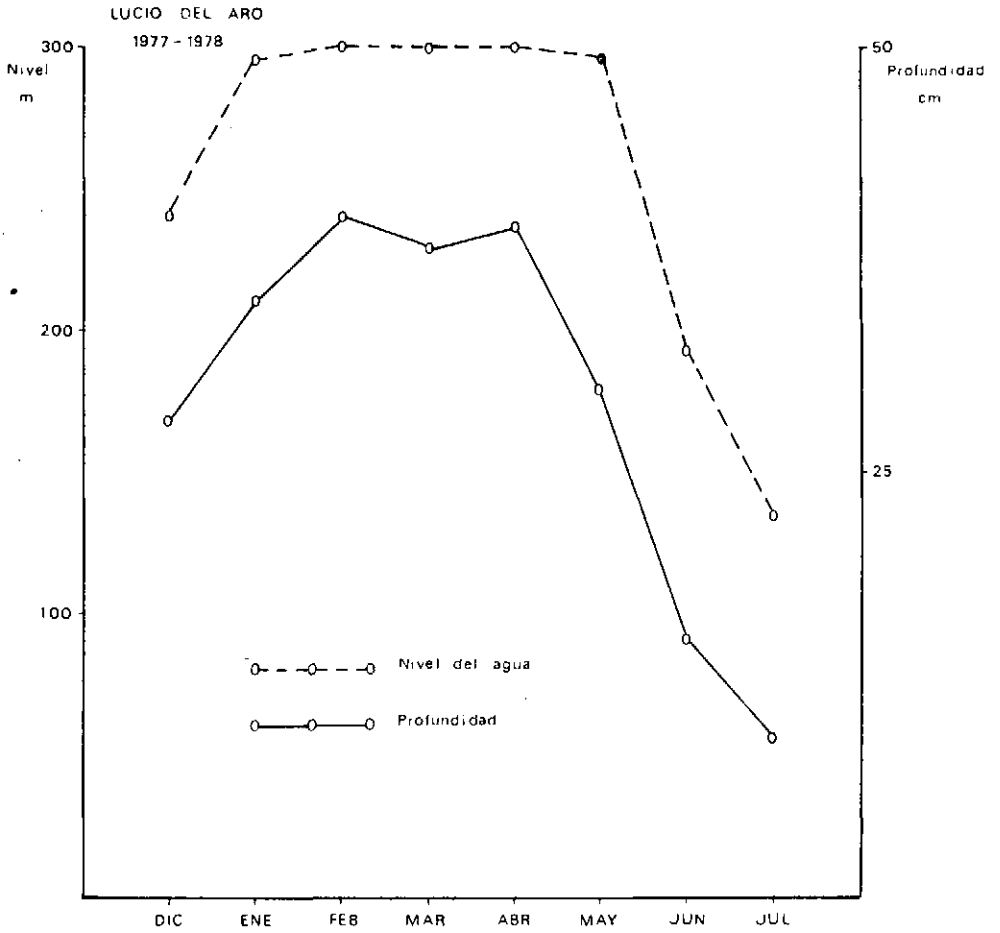


FIGURA 11. Distribución mensual de la profundidad y nivel del agua durante el ciclo 1977/78 para la estación de muestreo Lucio del Aro.

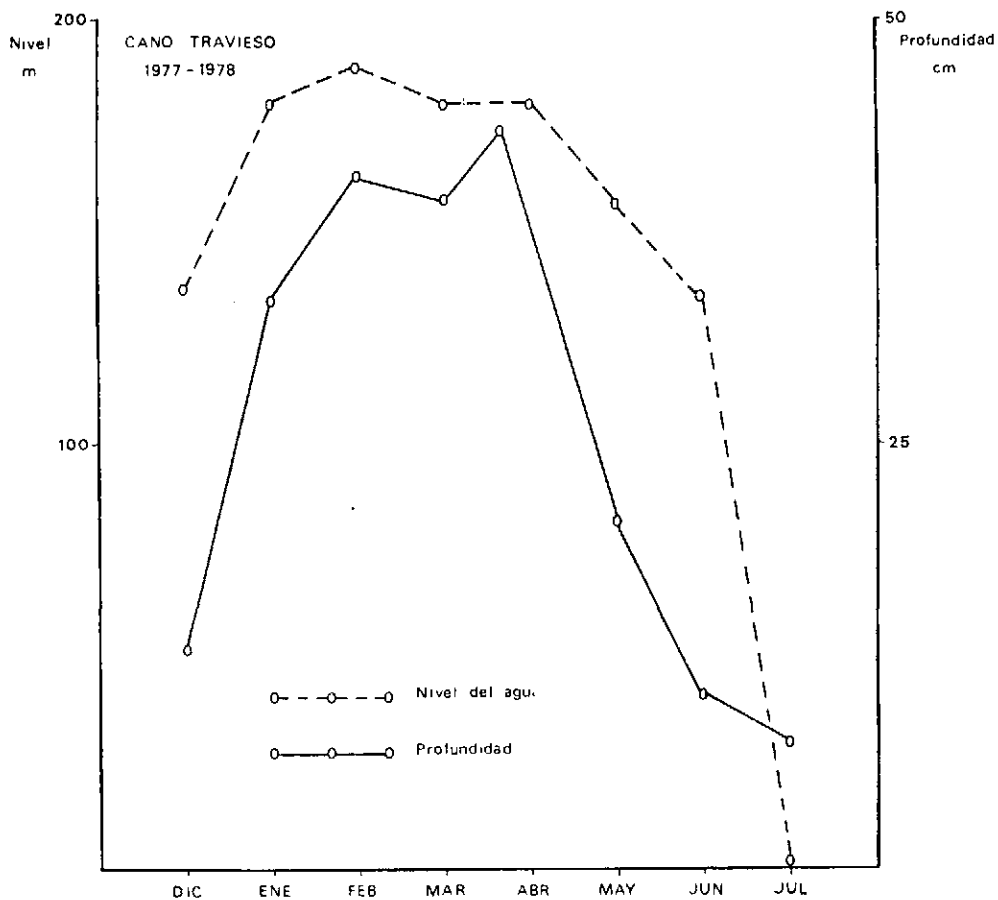


FIGURA 12. Distribución mensual de profundidad y nivel del agua durante el ciclo 1977/78 para la estación de muestreo Caño Traveso.

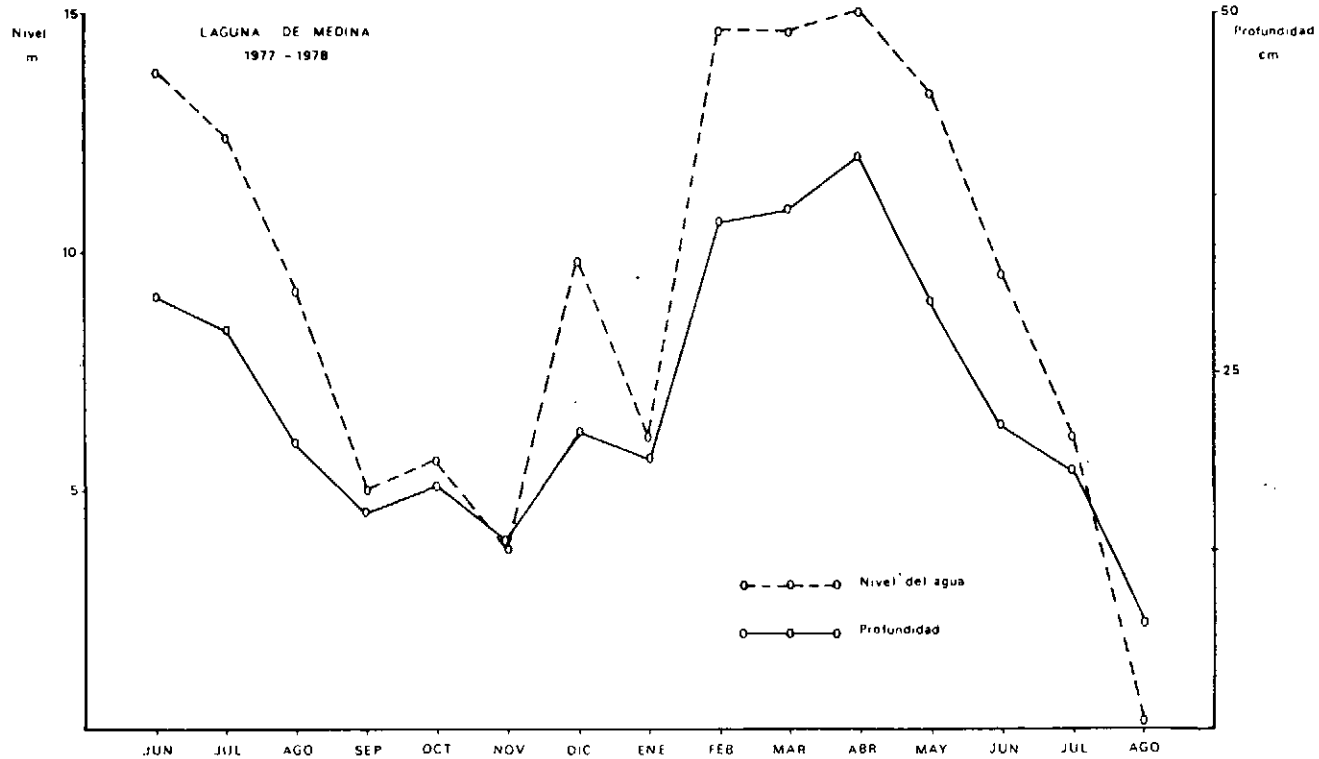


FIGURA 13. Distribución mensual de la profundidad y nivel del agua durante el ciclo 1977/78 para la estación de muestreo Laguna de Medina.

punto de la toma de la muestra, en general, el resto de los medios acuáticos de la zona de estudio son de escasa profundidad. La cubeta de la Laguna de Medina tiene una profundidad máxima de aproximadamente 2 m. En el Lucio del Aro, la zona más profunda no sobrepasa los 60 cm. El Caño Travieso posee zonas con una profundidad de hasta 80 cm, y en la Laguna de Santa Olalla aproximadamente 1,5 m.

II. FACTORES QUÍMICOS

II.1. *Cloruros (Clorosidad) y sólidos disueltos*

Dentro de los dos grandes tipos de medios salados, no marinos, estudiados, el anión cloruro supone aproximadamente el 50% para las aguas salobres costeras (medios talásicos) de la marisma y Laguna de Olalla y el 40 % para las aguas saladas del interior (medios atalásicos o atalasoalinos) de la Laguna de Medina, en el total de la composición iónica de sus aguas (salinidad). De aquí, la gran importancia que tiene el estudio de este elemento de proporcionalidad constante, en las adaptaciones ecológicas (regulación osmótica e iónica) de los organismos que ocupan estos medios acuáticos.

Para la estima de la salinidad total, se utilizó la medida de los sólidos disueltos. La mejor forma de expresar la salinidad de un agua es mediante la suma de la composición iónica de los ocho cationes y aniones más importantes (Wetzel, 1975), y su medida más frecuente se realiza mediante la utilización de un conductivímetro. En este estudio, y por falta de este aparato, hubo que utilizar la estima de los sólidos disueltos o residuo seco a 110° C, que también produce una medida fiable de la salinidad (Catalán, 1969). Dado el interés de este factor químico para los cuerpos de agua estudiados, resulta interesante revisar la evolución de las clasificaciones desarrolladas por distintos autores, para posteriormente aplicar las conclusiones críticas al presente estudio.

A) *Revisión de las clasificaciones de las aguas saladas no marinas*

Desde que Redecke (1922) sentó las primeras bases de todas las clasificaciones posteriores, se han producido gran número de discusiones y polémicas (Segerstrale, 1959).

El problema comienza en la definición de agua salada que, para la mayoría de los autores, basándose en las relaciones entre la concentración de los distintos iones del agua marina, consiste en una mezcla de agua salada oceánica y aguas dulces continentales. El término agua «salobre»

quedaba restringido a las aguas con salinidad variable pero con relaciones iónicas aproximadamente iguales a las del agua marina. Esta definición general de agua marina diluida, dejaba fuera otro tipo de medios, también salados, muy importantes y que no atienden a esta definición (Tourrenq, 1975). Son las aguas saladas de origen continental; principalmente las lagunas de las cuencas endorreicas y arreas, cuya salinidad posee una composición diferente a la de las aguas marinas. Suelen ser más ricas en sulfatos, carbonatos y magnesio que las marinas (Margalef, 1950, 1951). Son las llamadas aguas atalásicas o atalasoalinas (Bayly, 1967), como las de la zona endorreica manchega, aragonesa o la zona endorreica bética, objeto de este estudio. También las aguas de origen marino en las que debido a la evaporación se produce una cristalización parcial de sus sales, entran dentro de este término de atalasoalino (Margalef, 1974).

Las clasificaciones de aguas salobres pueden dividirse en tres grupos (Marazanof, 1969; Kiener, 1978). Aquellas que se basan únicamente en el gradiente de salinidad, las que tienen en cuenta la salinidad y sus variaciones estacionales según el clima, y aquellas que utilizan datos bioce-nóticos.

Dentro de las del primer grupo, las más importantes son las de Shlien-z (1923); Brunelli (1933); Valinkangas (1933); Remane (1959); Schachter (1950); Petit y Schachter (1951); Ancona (1959) Petit (1954); Margalef (1955); Dahl (1956); Nisbet, Petit y Schachter (1958); Remane y Schlieper (1958); Mars (1966).

Todas estas clasificaciones de los medios salobres se encuentran muy relacionadas unas con otras, y se diferencian básicamente en las cifras de salinidad que delimitan cada una de las clases propuestas y que reflejan la localización geográfica (hidrología y clima) de las aguas donde se desarrollaron los estudios. La mayoría de ellas sólo son válidas en las zonas donde fueron elaboradas. Los límites de estas clasificaciones eran definidos por la presencia o ausencia de ciertas especies animales y vegetales. En 1958 se reúne en Venecia («Simposio sulla classificazione delle acque salmastre», Venecia, 1958) un numeroso grupo de investigadores con el objeto de buscar una escala suficientemente flexible y que tratara de satisfacer la mayoría de los estudios (Anónimo, 1958).

Dentro de las resoluciones del congreso se acuerda el no utilizar el término salobre, sino el de «mixohalino» para designar el agua de mar diluida. Por último, Por (1972) da una clasificación semejante a la del sistema de Venecia, pero recoge también la clasificación de las aguas atalasoalinas, utilizando el término «mixo» para distinguir las compuestas de aguas dulces y marinas de las que son exclusivamente de origen

continental. De todas formas, cada estudio particular, apoyándose en estos datos, deberá completar o afinar su clasificación según los ciclos de salinidad diarios, anuales, los valores máximos y mínimos y las variaciones climáticas.

La salinidad de las aguas viene controlada por tres mecanismos: el sustrato, la precipitación y los procesos de evaporación (Gibbs, 1970); por tanto, eran necesarias unas clasificaciones que tuvieran en cuenta el clima de la zona. Según las clasificaciones anteriores, un agua salobre podía pasar, a lo largo de su ciclo anual, por varias de las clases propuestas.

Hedgpeth (1951) establece los hidrográficos de temperatura y salinidad, similares a los climatogramas de los medios terrestres, para caracterizar a los medios salobres, y en el congreso de Venecia se recomienda su utilización.

Aguesse (1957) propone otro tipo de clasificación dentro de este grupo, usando los máximos y mínimos de salinidad frente a sus medias anuales, por el efecto limitante que ejercen estos factores sobre los organismos que habitan las aguas salobres, en especial aquellos medios salobres más o menos incomunicados con el mar y, por tanto, sometidos a fuertes variaciones estacionales de salinidad, como es el caso de la «Camargue» en Francia y las marismas del Bajo Guadalquivir. Desde el punto de vista biológico, la amplitud de la variación anual de la salinidad de un medio salobre es muy importante para fijar la mayor o menor eurihalinidad de sus poblaciones. El único inconveniente que presenta esta clasificación, es el cuadro de términos que utiliza que, a primera vista, parecen muy complicados.

Para nuestro estudio, y con objeto de intentar clasificar las aguas por su salinidad, se ha utilizado el sistema de Venecia para las clasificaciones, según el gradiente de salinidad y los hidrográficos de salinidad y temperatura, y la clasificación de Aguesse para las clasificaciones climáticas.

A pesar de que las aguas costeras estudiadas no son realmente mezcla de agua dulce y marina, se ha empleado el término mixo-halino, para indicar su origen marino y el de «salino» (Por, 1972) para las aguas interiores de origen continental del sector endorreico.

B) *Aplicación al estudio*

En las figuras 14, 15, 16 y 17 se representa la variación mensual de las concentraciones de cloruros y sólidos disueltos.

Respecto a las clasificaciones climáticas, según Aguesse (1957), las



FIGURA 14. Distribución mensual de los sólidos disueltos y de los cloruros para la estación de muestreo Laguna de Santa Olalla durante el período 1977/78.

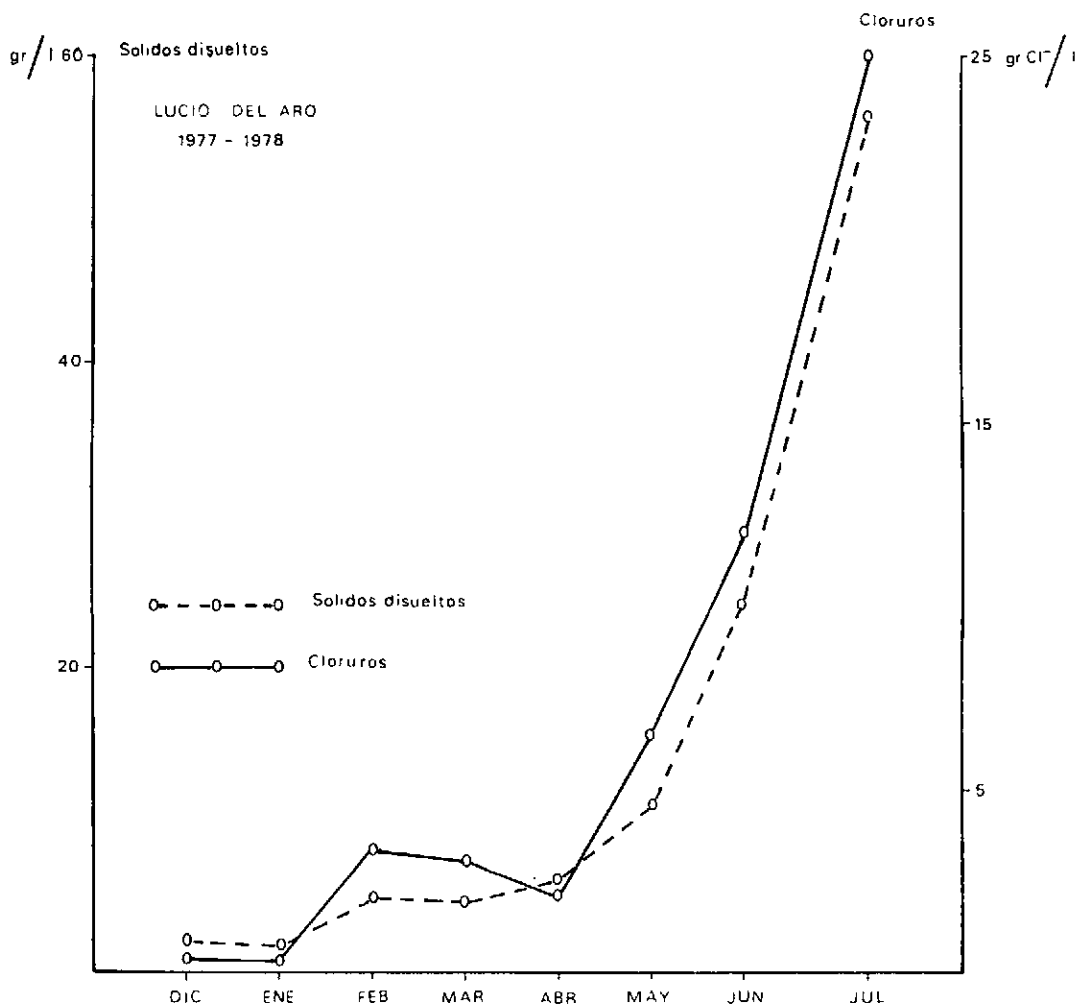


FIGURA 15. Distribución mensual de los sólidos disueltos y de los cloruros para la estación de muestreo Lucio del Aro durante el periodo 1977/78.

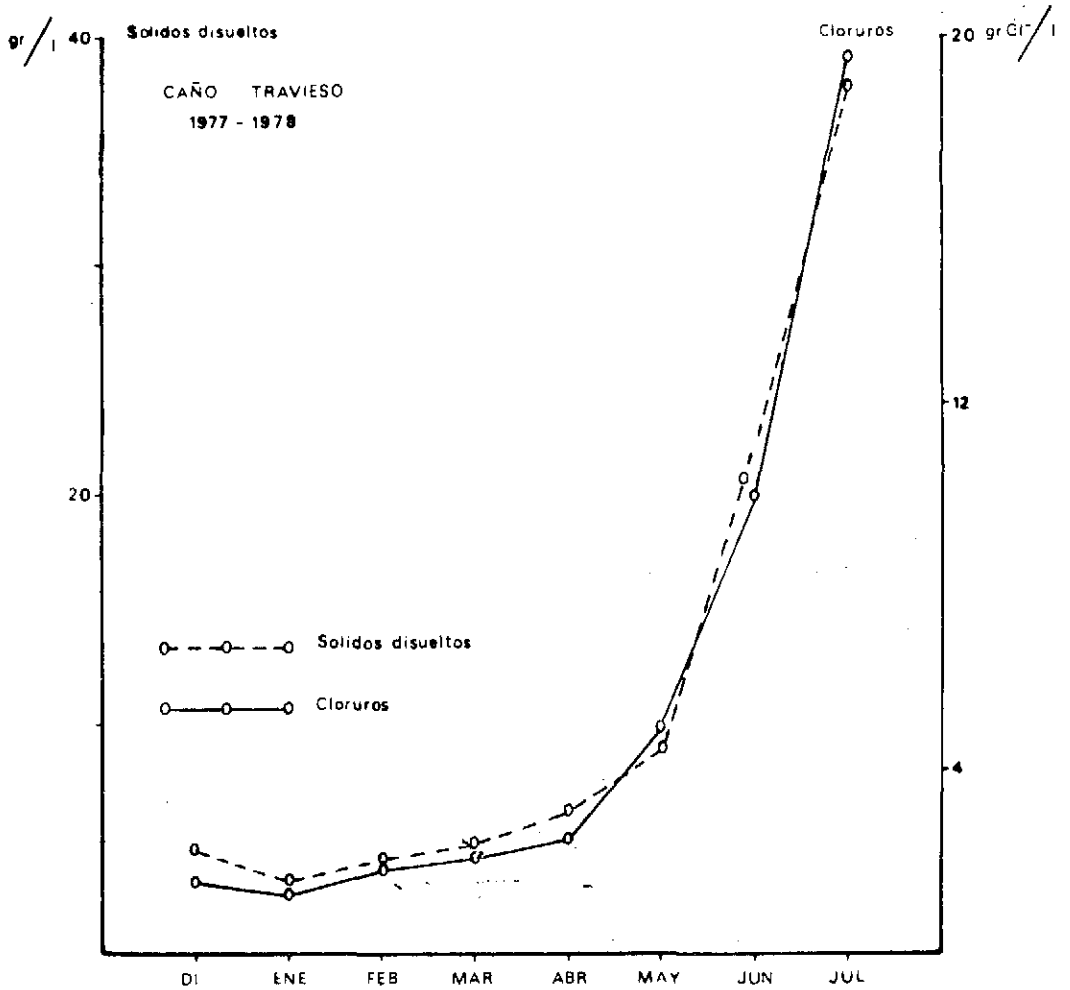


FIGURA 16. Distribución mensual de los sólidos disueltos y de los cloruros para la estación de muestreo Caño Traveso durante el período 1977/78.

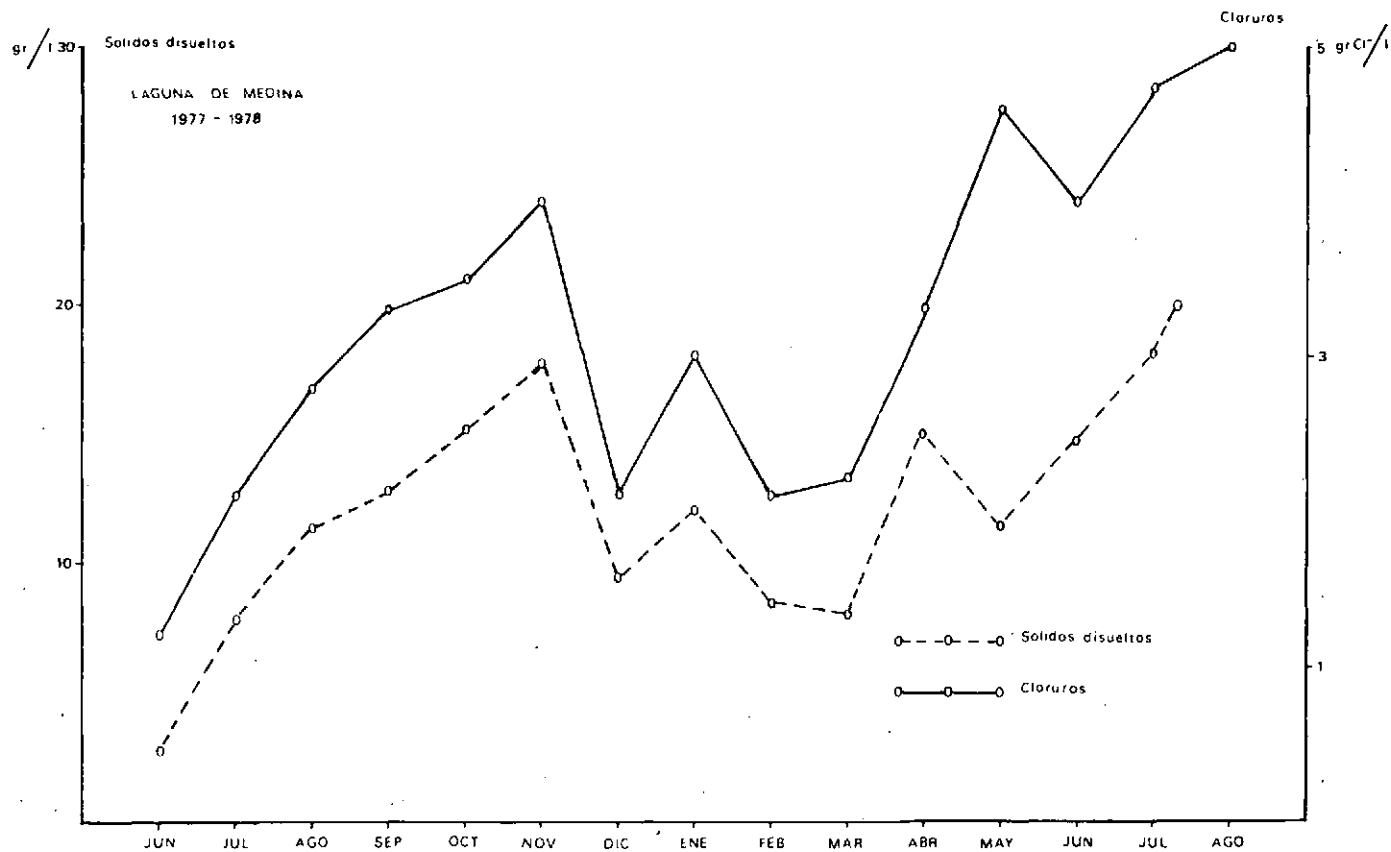


FIGURA 17. Distribución mensual de los sólidos disueltos y de los cloruros para la estación de muestreo Laguna de Medina durante el periodo 1977/78.

aguas de las estaciones estudiadas para el ciclo 1977-1978 se clasificaron como sigue:

- Laguna de Medina: SALOBRE MESOPOIQUILOHALINA (+) según los sólidos disueltos, y SALOBRE MESOPOIQUILOHALINA (—) según la concentración de cloruros.
- Laguna de Santa Olalla: OLIGOSALOBRE OLIGOPOIQUILOHALINA.
- Caño Travieso: SALOBRE POLIPOIQUILOHALINA (\pm).
- Lucio del Aro: SALOBRE POLIPOIQUILOHALINA (\pm).

En las figuras 18, 19 y 20 se representan los hidrográficos de temperatura y salinidad para las estaciones estudiadas. Se puede apreciar la separación de la Laguna de Santa Olalla del resto, con una salinidad baja y una escasa variación estacional, la Laguna de Medina, con una salinidad media importante y una variación no muy grande, y el Caño Travieso y Lucio del Aro, con salinidad mayor y con un amplio rango de variación temporal (tabla 5). Esta separación también se puede apreciar en la figura 21, en donde se representa la clorosidad media frente a su rango anual.

Como cabía esperar, la distribución anual de estos dos parámetros (cloruros y sólidos disueltos) evoluciona muy similarmente. El coeficiente de correlación entre ambos es altamente significativo para las cuatro estaciones estudiadas: $r = + 0,89$ para Santa Olalla; $r = + 0,99$ para Lucio del Aro; $r = + 0,99$ para Caño Travieso, y $r = + 0,91$ para Laguna de Medina ($P \leq 0,01$).

La variación temporal de estos parámetros está estrechamente ligada al clima de la zona, básicamente al balance entre precipitación y evaporación. Tan sólo algunos meses, como noviembre para la Laguna de Santa Olalla y octubre y abril para la Laguna de Medina, no evolucionan paralelamente de una forma inversa con la precipitación. Su explicación podría encontrarse en el mismo caso de lo ocurrido para la profundidad y el nivel del agua.

En general, existe una relación inversa, estadísticamente significativa, entre la variación del nivel y profundidad del agua con cloruros y sólidos disueltos, pero hay algunos casos, como los meses de octubre y abril para la Laguna de Medina y noviembre para la Laguna de Santa Olalla, en los que el aumento del nivel y profundidad del agua no trae consigo una disminución de la salinidad y cloruros, o al contrario. Este fenómeno ya ha sido observado en Camargue por otros autores (Aguesse, 1958), poniéndose de manifiesto una relación compleja entre el nivel del agua y los valores de estos parámetros.

En las tablas 4 y 5 se presentan los valores medios, máximos y míni-

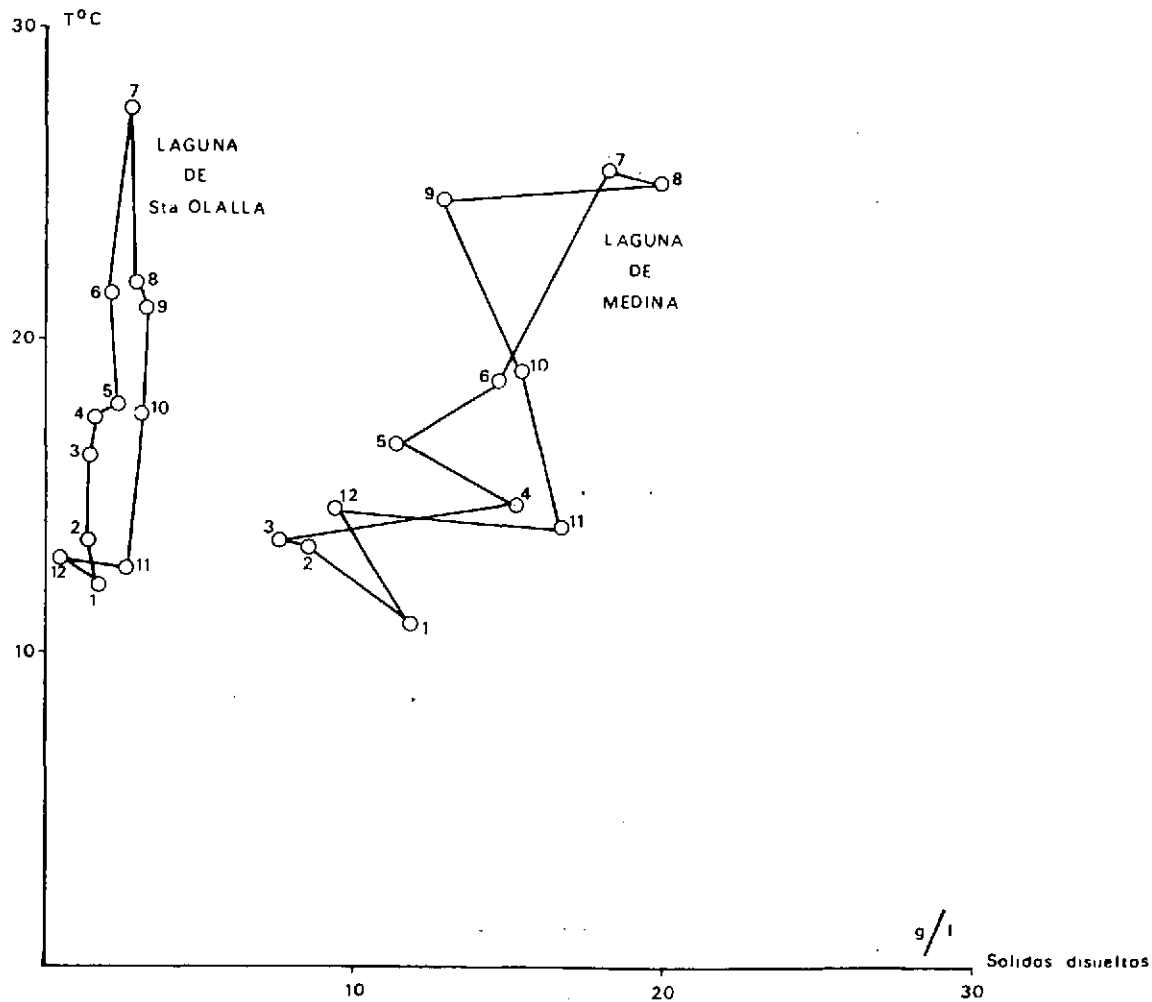


FIGURA 18. Hidrográficos de temperatura y salinidad establecidos para las estaciones de muestreo de la Laguna de Medina y Santa Olalla durante el período de 1977/78. La numeración en cada punto corresponde a los distintos meses del año.

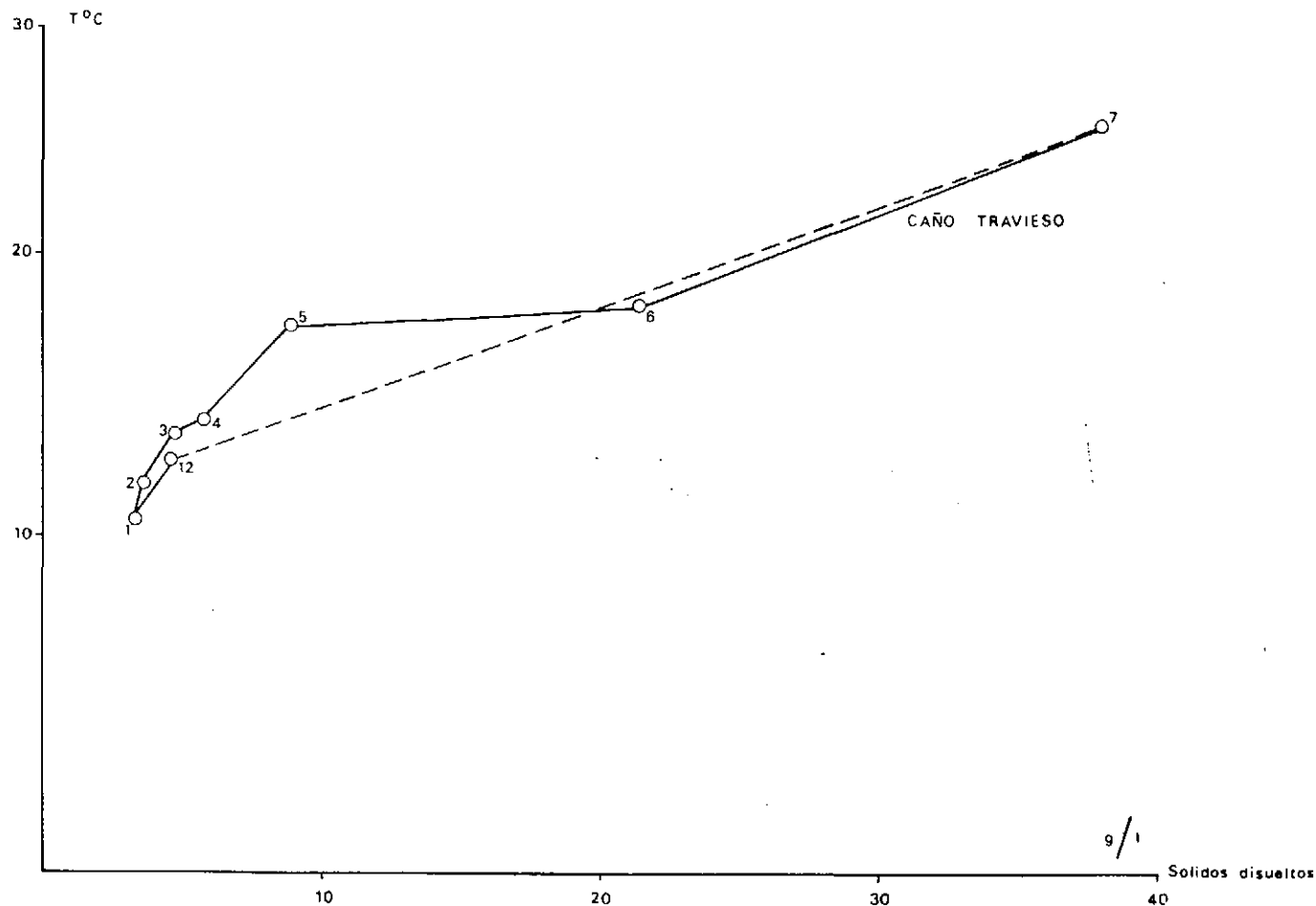


FIGURA 19. Hidrográficos de temperatura y salinidad establecidos para la estación de muestreo del Caño Traveso durante el período 1977/78. Las líneas de trazos indican el período de ausencia de agua.

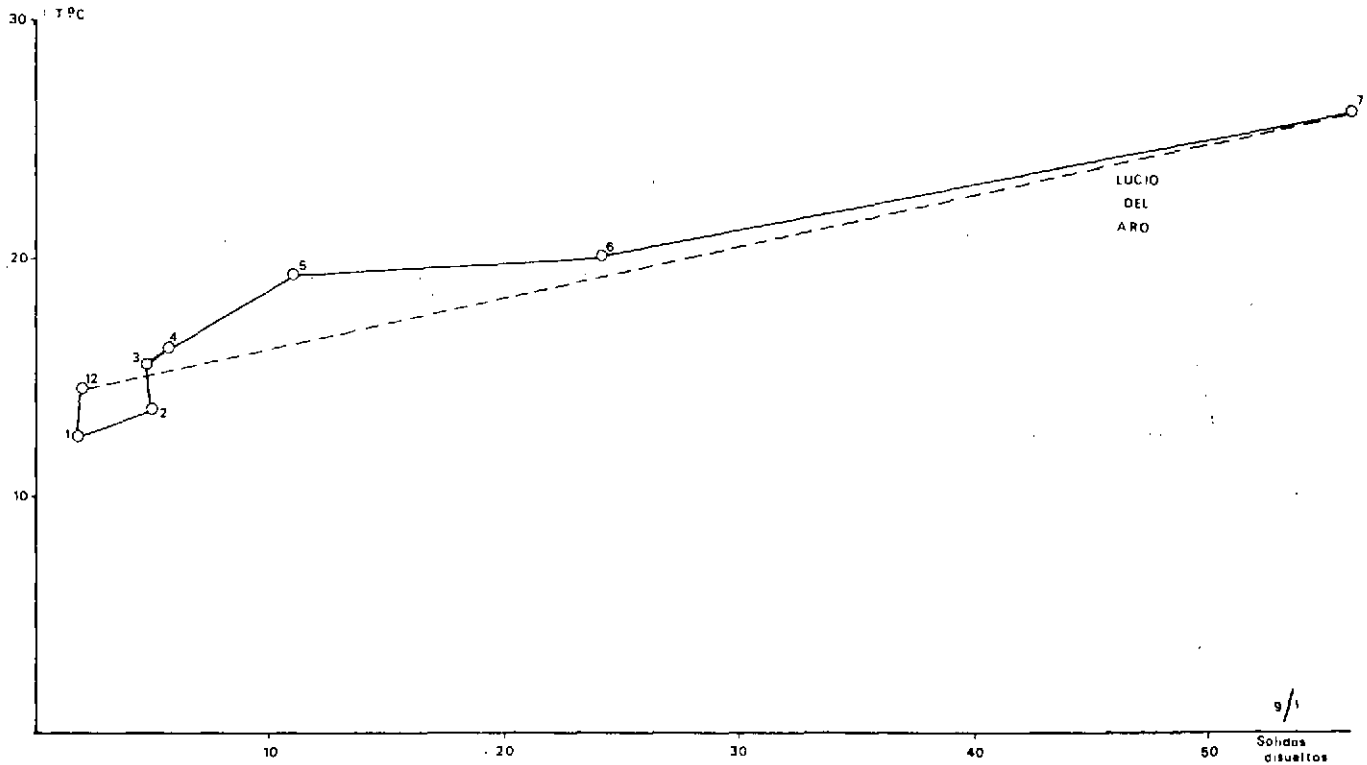


FIGURA 20. Hidrográficos de temperatura y salinidad establecidos para la estación de muestreo del Lucio del Aro durante el período 1977/78. Las líneas de trazos indican el período de ausencia de agua.



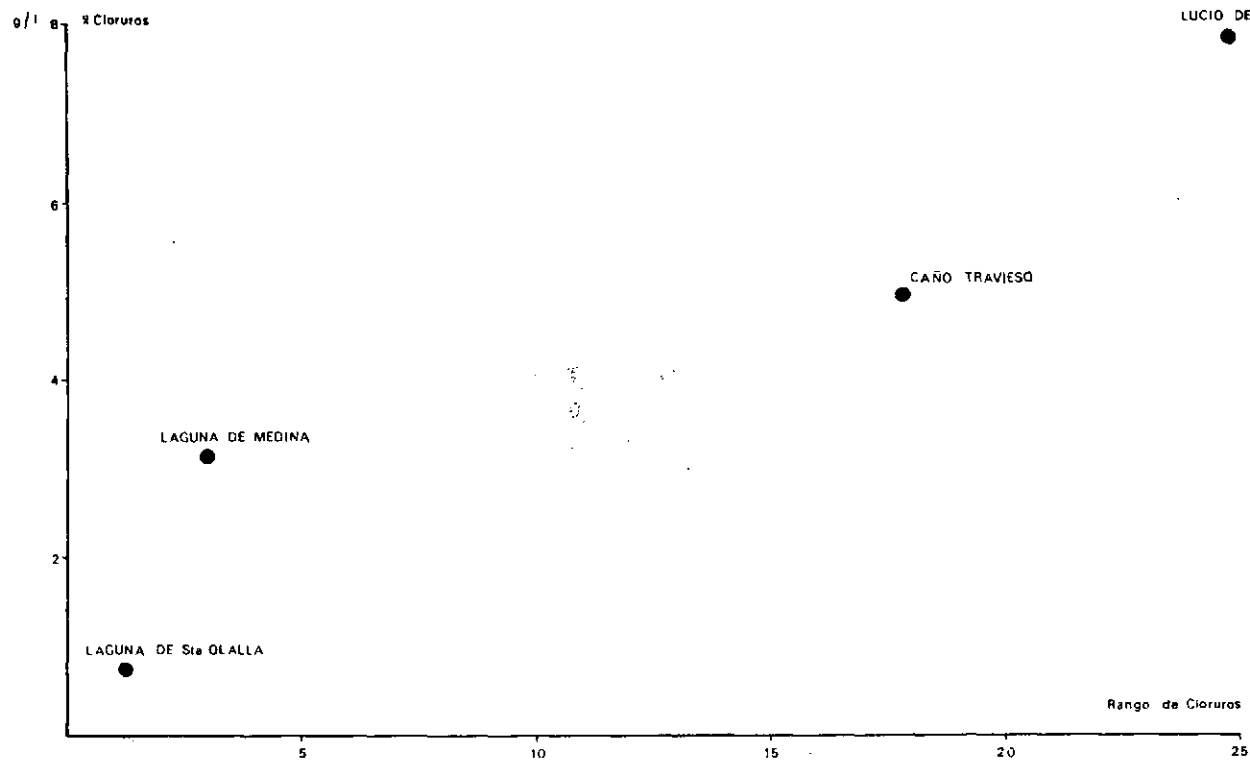


FIGURA 21. Relación entre la clorosidad media y el rango de salinidad para las cuatro estaciones muestreadas durante el periodo de 1977/78.

mos de cloruros y sólidos disueltos durante el ciclo estudiado, para las cuatro estaciones de muestreo.

TABLA 4

ESTADISTICOS PRINCIPALES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TIPICA (s) Y RANGO DE LOS CLORUROS DURANTE EL CICLO 1977/78. SE EXPRESA ENTRE PARENTESIS LOS MESES QUE REGISTRARON LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE FUERON ELABORADOS LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máximo | Mínimo |
|-------------------------|-----------|------|----|-----------------------|--------------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 3,22 | 1,11 | 15 | 5,03 (Agosto 1978) | 2,15 (Diciembre 1977) |
| Laguna de Santa Olalla. | 0,99 | 0,35 | 13 | 1,72 (Julio 1978) | 0,49 (Diciembre 1977) |
| Caño Travieso | 5,63 | 6,32 | 8 | 19,56 (Julio 1978) | 1,56 (Enero 1978) |
| Lucio del Aro | 6,99 | 8,46 | 8 | 25,80 (Julio 1978) | 0,83 (Diciembre 1977) |

TABLA 5

ESTADISTICOS PRINCIPALES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TIPICA (s) Y RANGO DE LOS SOLIDOS DISUELTOS DURANTE EL CICLO 1977/78. SE EXPRESA ENTRE PARENTESIS LOS MESES QUE REGISTRARON LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE FUERON ELABORADOS LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máximo | Mínimo |
|-------------------------|-----------|-------|----|------------------------|--------------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 12,25 | 4,63 | 15 | 20,21 (Agosto 1978) | 8,10 (Marzo 1978) |
| Laguna de Santa Olalla. | 1,94 | 0,71 | 13 | 2,83 (Julio 1978) | 0,68 (Diciembre 1977) |
| Caño Travieso | 11,32 | 12,38 | 8 | 38,22 (Julio 1978) | 3,28 (Enero 1978) |
| Lucio del Aro | 13,90 | 18,65 | 8 | 56,49 (Julio 1978) | 2,04 (Diciembre 1977) |

Respecto a la comparación de estos datos con las medidas efectuadas en otros años, tan sólo se poseen datos para la Laguna de Santa Olalla y dos valores de salinidad para la Laguna de Medina: 1,65 g/l Cl⁻ para



eneró de 1966 y 1,5 g/l Cl⁻ para mayo de 1965 (Marazanof, 1966, 1967). En la tabla 6 se expresan las cifras registradas, fechas y referencia bibliográfica de los valores de cloruros y pH en la Laguna de Santa Olalla por otros autores. Como puede apreciarse, no ha habido ningún cambio considerable en la salinidad de esta laguna en los últimos 16 años, como podía temerse por la constante extracción del agua freática dunar por la urbanización costera, con la consiguiente modificación de su régimen hidrológico.

TABLA 6

RESUMEN DE LAS MEDIDAS DE pH Y CLORUROS REALIZADAS EN LA LAGUNA DE SANTA OLALLA POR OTROS AUTORES, CON ANTERIORIDAD A ESTE ESTUDIO. SE EXPRESAN LA FECHA DE LA MEDIDA Y LA REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

| pH | Cl ⁻ g/l | Fecha | Referencia |
|---------|---------------------|------------------------|--|
| 9,2 | 0,65 | 21-22-XI-62 | Bigot, Marazanof, 1965; Marazanof, 1966. |
| 10,1 | 0,50 | 30-IV-1965 a 17-V-1965 | Bigot, Marazanof, 1966; Marazanof, 1966, 1967. |
| — | 0,75 | 17-I-66 a 4-II-66 | Marazanof, 1966. |
| 7 | 0,50 | 23-V-71 | Soler, 1972. |
| 6,3 | 0,70 | 23-IX-71 | Soler, 1972. |
| 8,4-9,4 | — | 28-I-73 | Margalef, 1976. |

Hernando (1978) sin dar cifras, clasifica las aguas de la Laguna de Santa Olalla, en el análisis factorial de sus muestras, como mesohalinas en invierno y primavera y polihalinas en verano y otoño; según la clasificación de Margalef (1955, 1974). Esto indicaría que su clorosidad habría oscilado entre 0,2 y 17 g/l para una precipitación anual de 433,5 mm en 1975 y de 892 mm en 1976. Estos rangos son realmente excepcionales comparados con nuestros registros. Teniendo en cuenta que durante el verano del ciclo 1975-1976, esta laguna tuvo uno de los niveles de agua más bajos conocidos en los últimos años, estas cifras nos servirían para fijar límites superiores de clorosidad que podrían alcanzar sus aguas durante los períodos extremos de sequía.

En general, podemos considerar las aguas de las cuatro estaciones estudiadas como aguas mixohalinas o salobres, con un mayor o menor carácter de poiquilohalinidad. Las estaciones de marismas se caracterizan por sus amplios rangos: 1,56 a 19,56 g/l Cl⁻ (\bar{x} = 5,63; s = 6,32) para el Caño Travieso y 0,83 a 25,8 g/l Cl⁻ (\bar{x} = 6,99; s = 8,46) en el Lucio del Aro (mixo-mesohalina- α). En esta misma estación, en un pequeño charco durante los últimos días de permanencia del agua se registró hasta 117 g/l Cl⁻. Estas variaciones de salinidad, para el caso de las maris-

mas del Guadalquivir, son características de los sistemas cerrados en donde, de una forma general no existe una relación directa con el mar, ni con las aguas dulces; excepto por precipitación directa. Estos sistemas presentan unas variaciones de salinidad de una forma gradual a lo largo de un ciclo hidrológico; es decir, presentan ritmos estacionales. En las aguas de los sistemas de libre cambio con el mar, como las de estuarios propiamente dichos, las variaciones son rápidas, importantes y dependientes fundamentalmente de las mareas; es decir, presentan ritmos diarios.

La Laguna de Santa Olalla se presenta en un ciclo normal, con aguas mixto-oligohalinas- β y un escaso rango de variación estacional ($\bar{x} = 0,99$ g/l; $s = 0,35$). La Laguna de Medina se sitúa en una posición intermedia entre las estaciones de marisma y arenas ($\bar{x} = 3,22$ g/l Cl⁻; $s = 1,11$) (mesosalinas- β).

II.2. pH y reserva alcalina

La medida del pH de las aguas tiene un gran valor como indicador de las proporciones entre las distintas formas de carbono inorgánico que tienen las algas a su disposición (Margalef, 1974). En los medios salobres, el valor de su medida es mucho menos importante que otros factores realmente limitantes, como la salinidad y la temperatura. Su influencia es a menudo indirecta, aunque la medida de sus variaciones permite precisar la marcha de fenómenos ecológicos diversos e importantes. En estos medios, las oscilaciones se encuentran ligadas a una amplia gama de factores, entre los que la vegetación (macrofítica, epífita, algas planctónicas y bentónicas) y el factor bacteriológico en la descomposición de la materia orgánica juegan el papel más importante (Schachter, 1950).

Al igual que el oxígeno y el CO₂, el pH presenta en estos medios salobres de poca profundidad un pulso diario, muy marcado, según la hora y la profundidad (Nicol, 1936; Aguesse, 1961). También presenta una fuerte variación espacial en su medida, existiendo sensibles diferencias cuando ésta se efectúa cerca de las orillas, donde el mayor acúmulo de materia orgánica y los procesos de reducción, intensificación, intensificados sobre todo al final de la primavera y verano, provocan la producción de sulfídrico disminuyendo considerablemente su valor. Al igual que con la temperatura, es muy probable que exista una estratificación de este factor para los medios antes especificados. En nuestro estudio, al tomar la muestra en la hidrofase, su valor presenta una menor variación.

La alcalinidad se utilizó como medida del contenido de sales del ácido carbónico, expresada en meq/l de CO₃.

En las figuras 22, 23, 24 y 25 se representan las variaciones mensuales de estos dos parámetros para las cuatro estaciones estudiadas, y en las tablas 7 y 8 sus rangos de variación para el período de estudio.

TABLA 7

ESTADÍSTICOS MAS IMPORTANTES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TIPICA (s) Y RANGO, DEL pH, PARA LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO DURANTE EL PERIODO 1977/78. SE EXPRESA ENTRE PARENTESIS LOS MESES QUE REGISTRARON LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE FUERON ELABORADOS LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máxima | Mínima |
|-------------------------|-----------|------|----|--------------------------|----------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 8,47 | 0,57 | 15 | 9,6 (Abril 1978) | 7,8 (Agosto 1978) |
| Laguna de Santa Olalla. | 8,08 | 0,78 | 13 | 9,7 (Septiembre 1977) | 7,2 (Marzo 1978) |
| Caño Travieso | 8,15 | 0,72 | 8 | 9,2 (Abril 1978) | 7,1 (Julio 1978) |
| Lucio del Aro | 8,76 | 0,68 | 8 | 9,7 (Abril 1978) | 7,9 (Julio 1978) |

TABLA 8

ESTADÍSTICOS MAS IMPORTANTES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TIPICA (s) Y RANGO, DE LA ALCALINIDAD PARA LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO EL PERIODO 1977/78. SE EXPRESA ENTRE PARENTESIS LOS MESES QUE REGISTRARON LOS VALORES MAXIMOS Y MINIMOS. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE FUERON ELABORADOS LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máxima | Mínima |
|-------------------------|-----------|------|----|--------------------------|---------------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 1,78 | 0,90 | 15 | 3,49 (Diciembre 1977) | 0,79 (Marzo 1978) |
| Laguna de Santa Olalla. | 3,55 | 1,23 | 13 | 5,33 (Mayo 1978) | 1,51 (Septiembre 1977) |
| Caño Travieso | 7,62 | 5,71 | 8 | 19,48 (Julio 1978) | 2,11 (Diciembre 1977) |
| Lucio del Aro | 4,07 | 2,21 | 8 | 9,02 (Julio 1978) | 2,57 (Marzo 1978) |

Según la gráfica de Buch (1930), la reserva alcalina de las aguas, de las cuatro estaciones estudiadas, se debe fundamentalmente a los bicarbonatos.

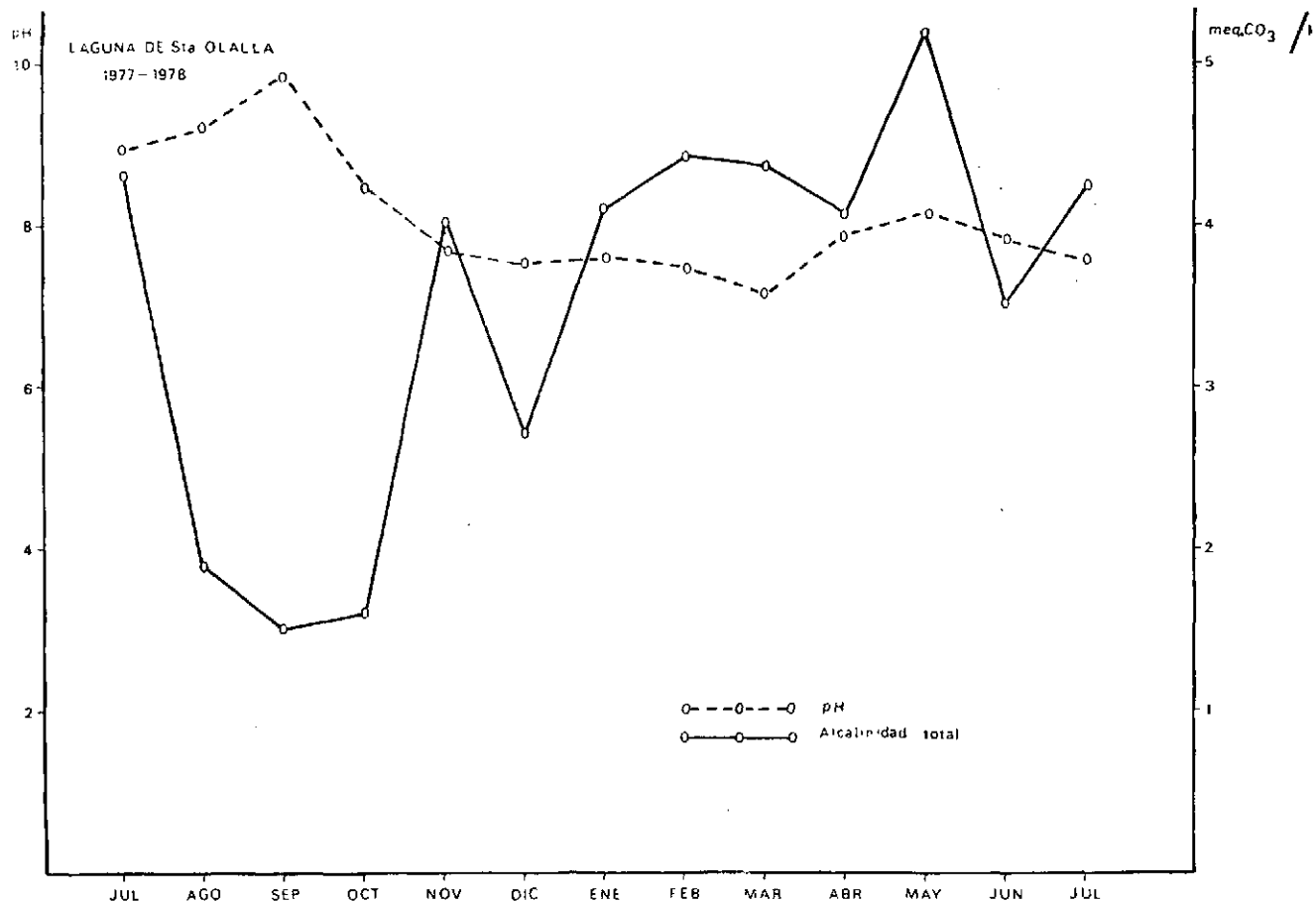


FIGURA 22. Distribución mensual del pH y alcalinidad del agua para la estación de muestreo Laguna de Santa Olalla durante el período 1977/78.

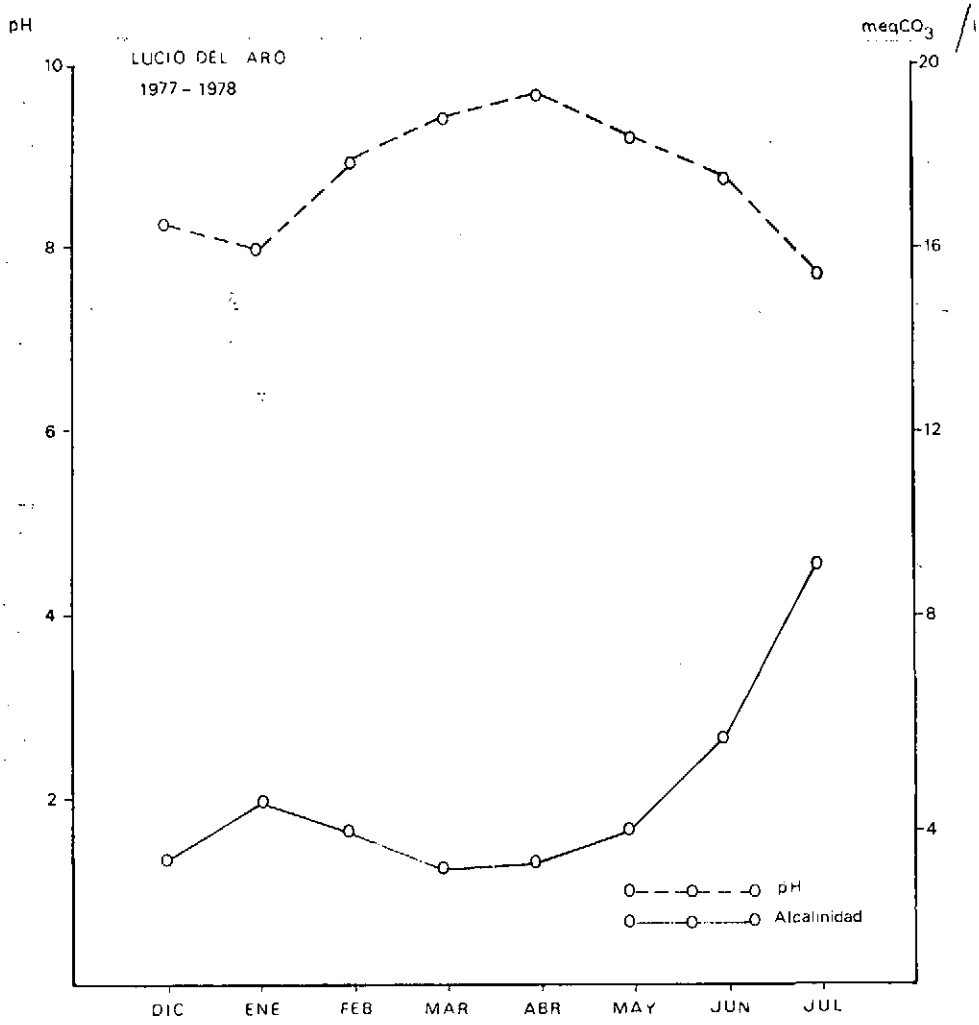


FIGURA 23. Distribución mensual del pH y alcalinidad del agua para la estación de muestreo Lucio del Aro durante el periodo 1977/78.

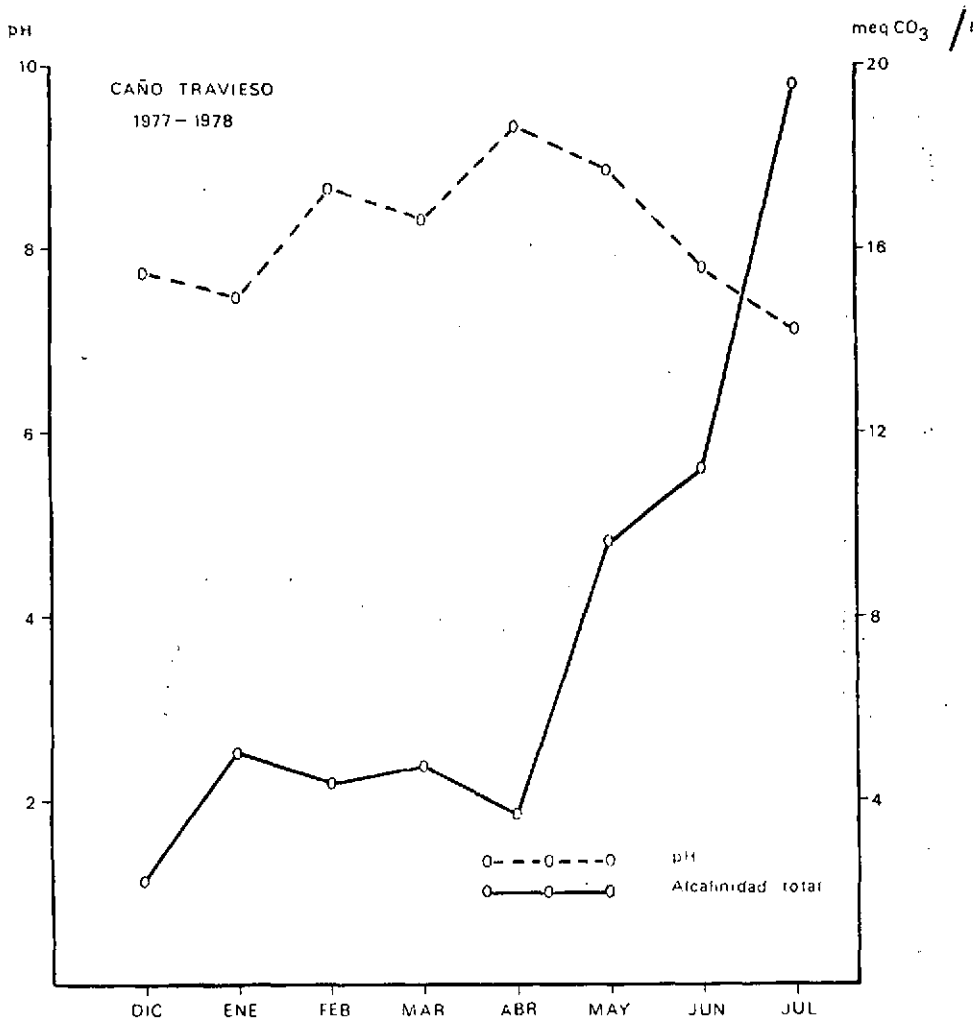


FIGURA 24. Distribución mensual del pH y alcalinidad del agua para la estación de muestreo del Caño Travieso durante el período 1977/78.

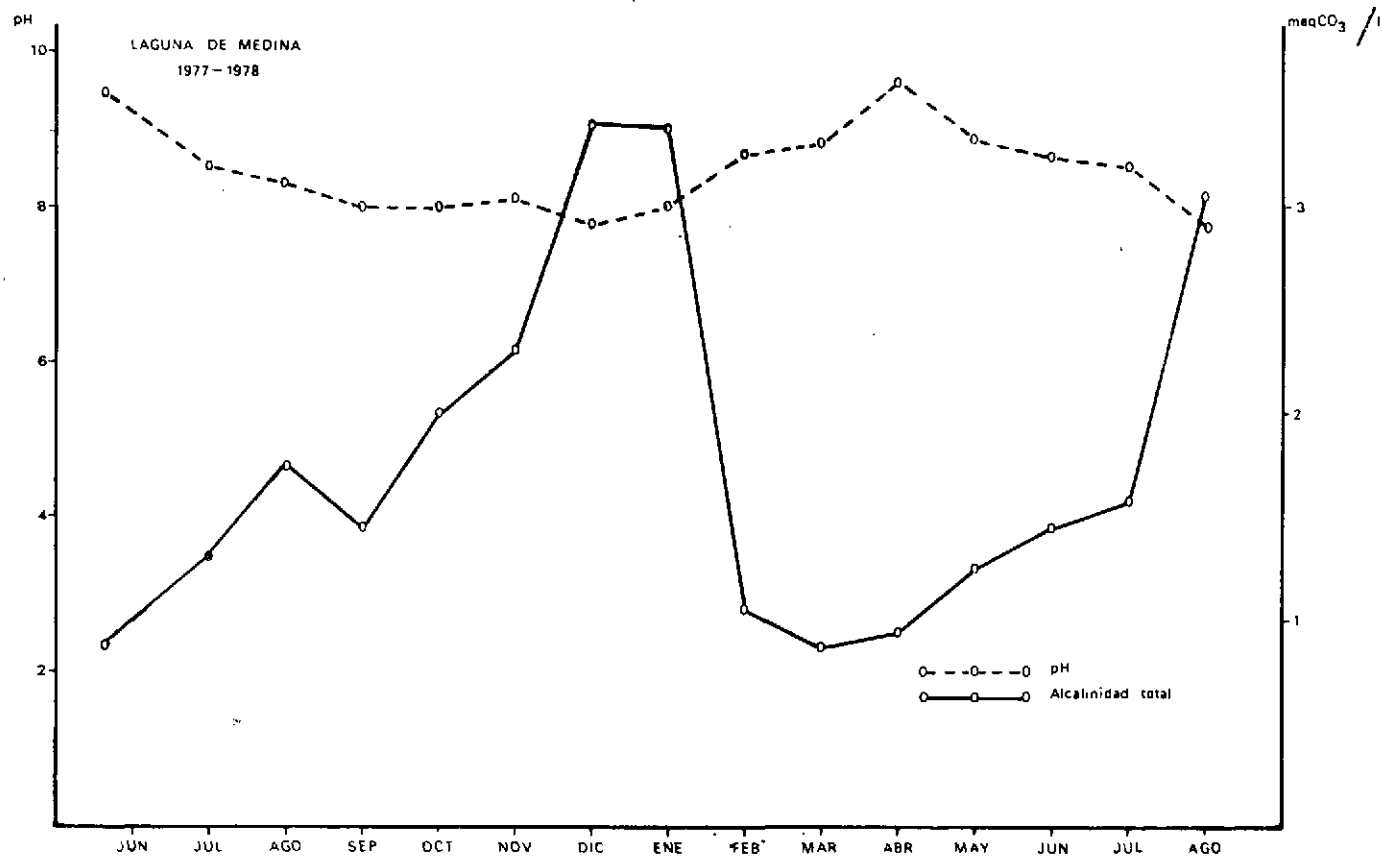


FIGURA 25. Distribución mensual del pH y alcalinidad del agua para la estación de muestreo Laguna de Medina durante el período 1977/78.

En la Laguna de Santa Olalla, debido a la alta producción de sus aguas, la variación temporal del pH va íntimamente ligada al desarrollo algal. El coeficiente de correlación de este parámetro con la concentración de clorofila «a» es altamente significativo, $r = + 0,68$ ($P \leq 0,01$). El aumento de la actividad fotosintética con la fuerte proliferación de verano y otoño, determina la fijación de CO_2 por parte de las algas, provocando un aumento del pH, una precipitación de CO_3Ca , y, por tanto, una disminución de la alcalinidad (Planas, 1973; Reisen, 1973).

El pH en esta laguna oscila entre 7,2 y 9,7. Su máximo, en el mes de septiembre, coincide con el mayor afloramiento de las algas, y su mínimo, en marzo, con una baja actividad de éstas.

La alcalinidad oscila entre 5,33 en mayo y un mínimo de 1,51 meq/l en septiembre, al precipitar el CO_3Ca debido a la intensa actividad fotosintética. Como cabía esperar para esta laguna de aguas eutróficas, la relación entre estos dos parámetros es intensa y varía de una forma inversa. El coeficiente de correlación entre ambos parámetros resulta significativo, $r = - 0,66$ ($P \leq 0,05$).

En el caso de la Laguna de Medina, Caño Travieso y Lucio del Aro, las oscilaciones de pH y alcalinidad no están tan ligadas a la producción de sus aguas (el coeficiente de correlación entre estos dos parámetros y la concentración de clorofila «a» no resulta significativo), sino, más bien, a la fenología de la vegetación acuática sumergida, estableciéndose una estrecha relación entre ésta y la calidad de las aguas.

Los máximos de pH, junto con los mínimos de alcalinidad coinciden con el período de mayor desarrollo y actividad fotosintética del tapiz vegetal sumergido. La calcificación de las Characeas (*Chara foetida*) provoca una disminución de iones Ca^{++} en la columna de agua (Tourenq, 1975), contribuyendo también a la disminución de los valores de alcalinidad.

También puede observarse cómo al final del ciclo, sobre todo en las estaciones de marisma, el aumento de la actividad bacteriana en la descomposición de la materia orgánica acumulada, provoca una fuerte elevación de alcalinidad, debido a la incorporación del CO_2 al agua como resultado de la respiración y oxidación de todo este material orgánico. El pH sufre una sensible disminución en su valor.

Al igual que en la Laguna de Santa Olalla, existe una variación conjunta e inversa de estos dos parámetros, sobre todo en la Laguna de Medina. El coeficiente de correlación para esta laguna entre ambos parámetros es altamente significativo ($r = - 0,84$; $P \leq 0,01$); para el Lucio del Aro, $r = - 0,81$ ($P \leq 0,01$) y el Caño Travieso, $r = - 0,38$ (no significativo).

Los valores de pH oscilan entre 7,1 y 9,2 para el Caño Travieso; 7,9 y 9,7 para el Lucio del Aro, y 7,8 a 9,6 en la Laguna de Medina. Sus máximos coinciden con el mes de máximo desarrollo de la vegetación de los fondos (abril), y sus mínimos con el final de sus ciclos en los que la actividad bacteriana es muy intensa (julio para el Caño Travieso y Lucio del Aro, y agosto para la Laguna de Medina).

La alcalinidad oscila entre 2,11 y 19,48 meq/l CO_3^- en el Caño Travieso 2,57 y 9,02 meq/l en el Lucio del Aro, y 0,79 a 3,49 meq/l para la Laguna de Medina. Sus máximos, sobre todo en el Lucio del Aro y Caño Travieso coinciden con el final de sus ciclos y sus mínimos con el desarrollo de la vegetación de los fondos.

Respecto a la comparación de estos registros de pH con medidas anteriores, y solamente para la Laguna de Santa Olalla (tabla 6), excepto la referente al año 1965 y la de septiembre de 1971, todas entran dentro del rango de variación de las cifras para el ciclo 1977-78.

En general, se puede decir que las aguas de estas estaciones estudiadas poseen valores medios de reserva alcalina y pH elevados, con unos amplios rangos de variación para la alcalinidad, a lo largo del ciclo. Mientras que en las aguas eutróficas de la Laguna de Santa Olalla la evolución temporal de estos parámetros depende de los cambios del fitoplancton, en el resto de las estaciones esta evolución está más o menos ligada a la fenología de la vegetación sumergida y flotante.

II.3. *Oxígeno disuelto*

El oxígeno disuelto en un agua es un factor esencial en la distribución de la vida de todos los organismos acuáticos que poseen respiración aerobia.

Los niveles de oxígeno que se dan en un agua dependen de las actividades físico-químicas y bioquímicas que prevalezcan en ese cuerpo de agua. Su contenido está en función, de la temperatura, la presión atmosférica y la salinidad (Dussart, 1966). En unos medios como los estudiados, en los que la salinidad presenta un amplio rango de variación, la cantidad de oxígeno medido, esto es, la concentración disponible para animales y vegetales, no sería comparable si no se tiene en cuenta la salinidad de las aguas. La forma de estandarizar los datos es expresándolos en % de saturación, es decir, el contenido de oxígeno que tendría ese agua si estuviese saturada, para una temperatura, presión atmosférica y salinidad dadas.

La presión atmosférica, para el caso de la zona de estudio, se puede considerar como constante y con un valor de 760 mm de Hg para una

altitud media en el caso de las marismas del Guadalquivir, prácticamente al nivel del mar.

El cálculo del % de saturación se efectuó a partir del nomograma de Tourenq (1975).

En las figuras 26, 27, 28 y 29 se representa la variación mensual del contenido en oxígeno y del % de saturación, para las aguas de las estaciones estudiadas.

En las tablas 9 y 10 se representan los rangos de variación y los valores medios para el período de estudio.

TABLA 9

ESTADISTICOS MAS IMPORTANTES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TIPICA (s) Y RANGO, DEL OXIGENO DISUELTO PARA LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO ESTUDIADAS, DURANTE EL CICLO 1977/78. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE SE HAN ELABORADO LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máxima | Mínima |
|-------------------------|-----------|------|----|----------------------------|--------------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 11,30 | 3,06 | 15 | 19,56 (Julio 1977) | 7,04 (Agosto 1977) |
| Laguna de Santa Olalla. | 9,24 | 2,60 | 13 | 13,44 (Septiembre 1977) | 5,28 (Febrero 1978) |
| Caño Travieso | 11,33 | 3,07 | 8 | 16,98 (Mayo 1978) | 8,16 (Febrero 1978) |
| Lucio del Aro | 12,26 | 3,62 | 8 | 17,80 (Abril 1978) | 6,56 (Diciembre 1977) |

TABLA 10

ESTADISTICOS MAS IMPORTANTES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TIPICA (s) Y RANGO, DEL % DE SATURACION DE OXIGENO, PARA LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO ESTUDIADAS, DURANTE EL CICLO 1977/78. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE SE HAN ELABORADO LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máxima | Mínima |
|-------------------------|-----------|-------|----|----------------------------|--------------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 134,40 | 41,59 | 15 | 250,0 (Julio 1977) | 90 (Agosto 1977) |
| Laguna de Santa Olalla. | 106,85 | 37,40 | 13 | 165,0 (Septiembre 1977) | 51 (Febrero 1978) |
| Caño Travieso | 136,12 | 51,50 | 8 | 230 (Mayo 1978) | 69 (Enero 1978) |
| Lucio del Aro | 152,62 | 52,60 | 8 | 198 (Abril 1978) | 57,0 (Diciembre 1977) |



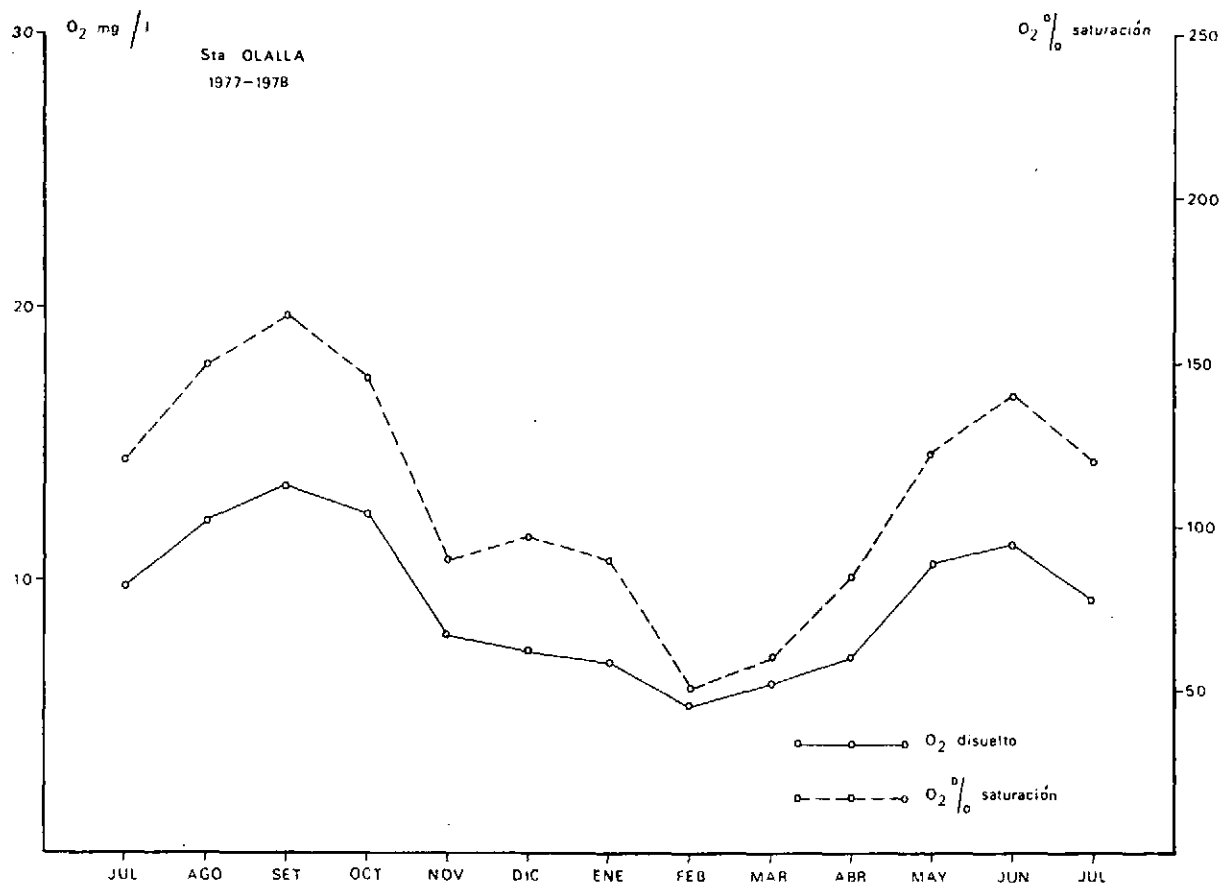


FIGURA 26. Distribución mensual de la concentración de O_2 y del % de saturación de O_2 para la estación de muestreo Laguna de Santa Olalla durante el período 1977/78.

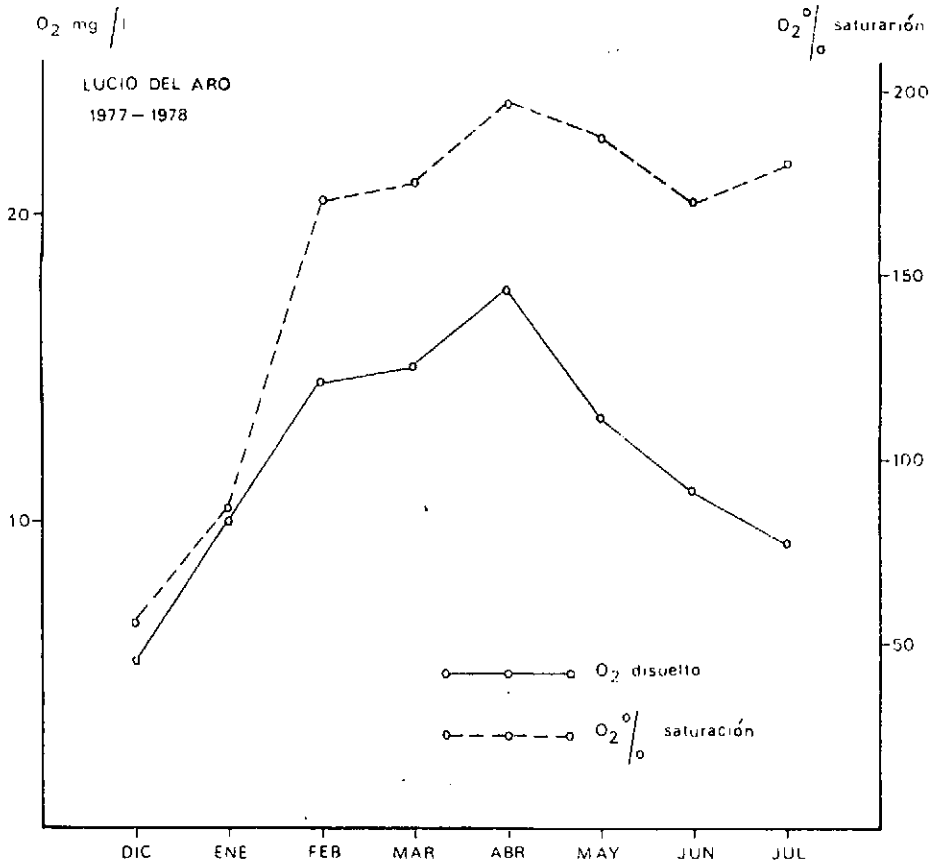


FIGURA 27. Distribución mensual de la concentración de O₂ y del % de saturación de O₂ para la estación de muestreo del Lucio del Aro durante el período 1977/78.

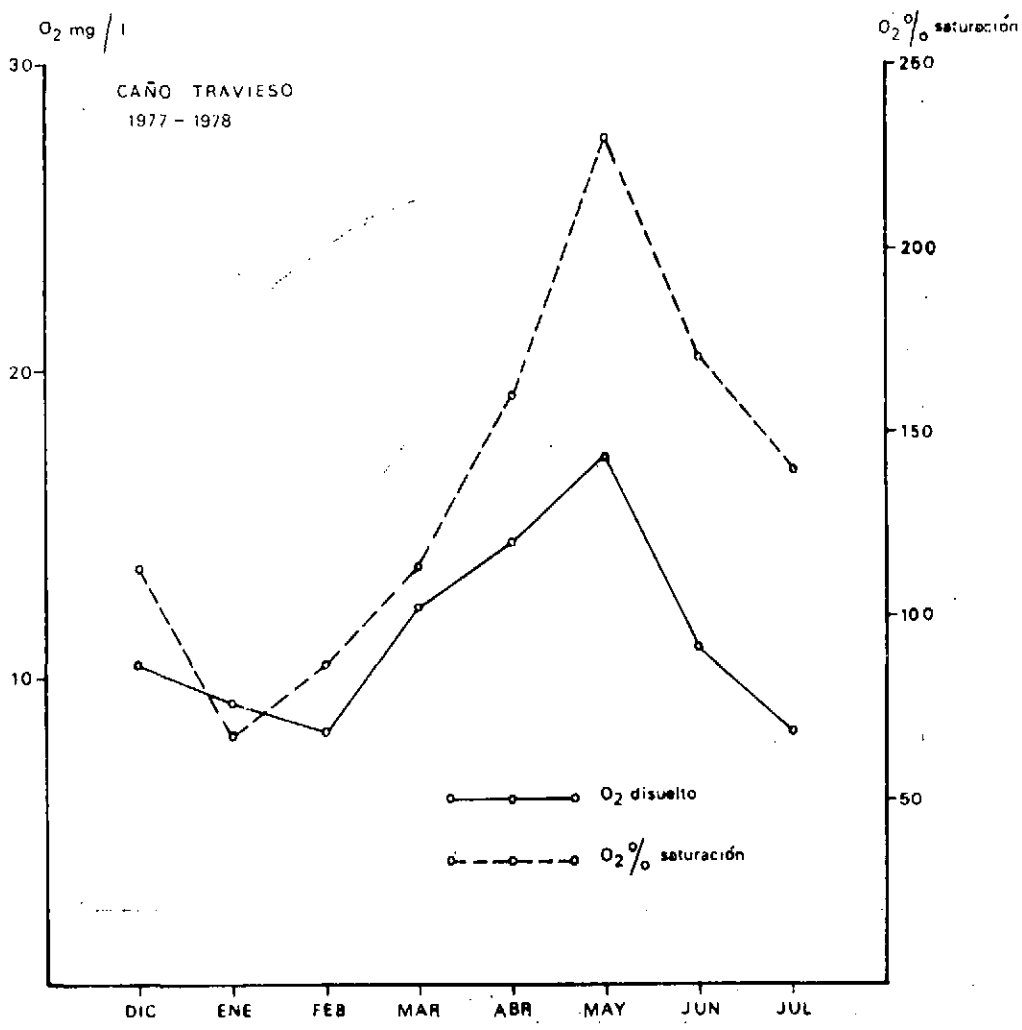


FIGURA 28. Distribución mensual de la concentración de O₂ y del % de saturación de O₂ para la estación de muestreo del Caño Traveso durante el periodo 1977/78.



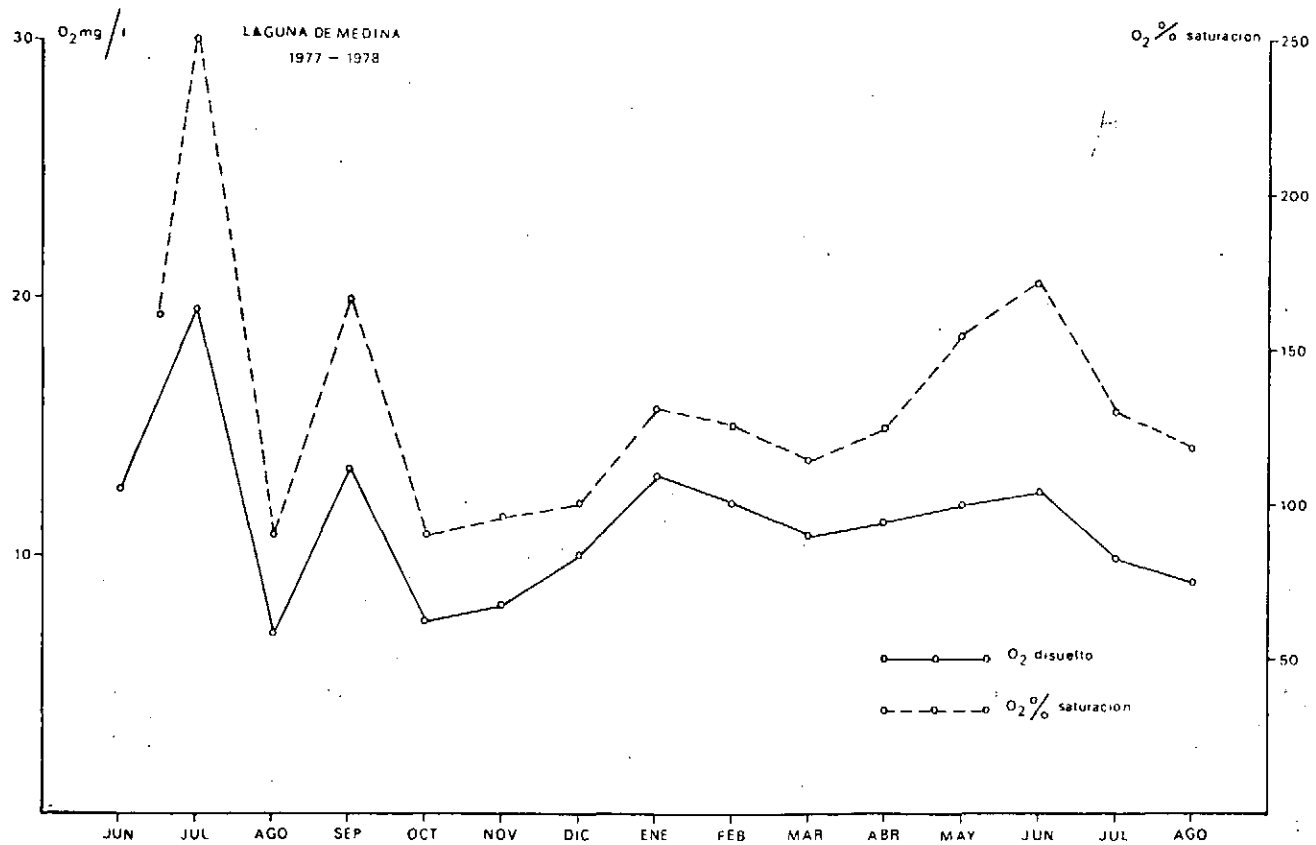


FIGURA 29. Distribución mensual de la concentración de O₂ y del % de saturación de O₂ para la estación de muestreo Laguna de Medina durante el periodo 1977/78.

En general, a lo largo del ciclo estudiado, la distribución estacional de la concentración de oxígeno puede deberse, durante el período frío, a fenómenos físicos relacionados con el balance térmico y la entrada de agua en los momentos de las máximas precipitaciones, mientras que en los períodos templado y cálido son los factores bioquímicos los que predominan en su distribución debido al aumento de la actividad biológica de los organismos, principalmente de los fotosintetizadores.

En la Laguna de Santa Olalla la distribución temporal del oxígeno a lo largo del ciclo estudiado, evoluciona paralelamente a la actividad fotosintética del fitoplancton de las aguas. El coeficiente de correlación entre el porcentaje de saturación de oxígeno y la clorofila «a» es altamente significativo ($r = + 0,87$, $P \leq 0,01$). Únicamente durante los meses de intensa actividad fotosintética (mayo-octubre), sus aguas se encuentran sobresaturadas de oxígeno, y durante el período frío y comienzo de la primavera (noviembre-abril) las aguas no están saturadas y el valor de este factor se debe fundamentalmente a los vientos, las aguas de escorrentía y las precipitaciones. De las cuatro estaciones estudiadas, la Laguna de Santa Olalla, debido al carácter altamente eutrófico de sus aguas y al gran acúmulo de materia orgánica en sus fondos arenosos, es la que debe presentar el mayor rango de variación diaria de este parámetro, con grandes oscilaciones, así como una posible estratificación espacial y vertical, debida a la escasa transparencia de sus aguas, característica propia de los cuerpos de agua muy eutróficos (Liengeman y cols., 1975).

Las concentraciones de oxígeno en esta laguna oscilaban entre 13,4 mg/l y 5,3 mg/l para los meses de septiembre y febrero, respectivamente. Lo mismo ocurría con el porcentaje de saturación de oxígeno, que variaba entre 165 % y 51 %. Sus máximos y sus mínimos coinciden con los máximos y mínimos de las concentraciones de clorofila «a».

En la Laguna de Medina, la distribución temporal de este parámetro se encuentra menos ligada a la producción de las aguas. La correlación entre el porcentaje de saturación y la concentración de clorofila «a» es menor, aunque significativa, $r = + 0,57$ ($P \leq 0,05$). Su variación temporal parece estar relacionada con el desarrollo de la vegetación acuática sumergida, así los valores máximos se encuentran en el período en el que el denso tapiz vegetal de *Chara foetida*, *Zannichellia peltata* y *Potamogeton pectinatus* se encuentra en su máximo desarrollo (julio 1977), mientras que los valores mínimos corresponden a los meses de la descomposición de toda esta vegetación (agosto 1977). Debido a la transparencia, profundidad de sus aguas y a la menor actividad de los organismos hete-

rótrofos, éstas se encuentran saturadas de oxígeno casi todos los meses del año.

Las concentraciones de oxígeno en esta laguna oscilaron entre 19,56 mg/l y 7,04 mg/l, y el porcentaje de saturación de oxígeno lo hizo entre 250 % y 90 % para los meses de julio y octubre en ambos casos.

Para las dos estaciones de marismas, en el Caño Travieso, el tapiz de *Chara foetida* y *Zannichellia peltata* del lugar donde se tomaba la muestra no era muy denso, por lo que la variación temporal del oxígeno parecía estar influenciada por la producción de sus aguas; el coeficiente de correlación de este parámetro con la clorofila «a» es altamente significativo; $r = + 0,88$ ($P \leq 0,01$). Sin embargo, en el Lucio del Aro, en el que este tapiz vegetal de fondo es muy denso, la correlación es muy baja, $r = + 0,04$ (no significativa), y la concentración de oxígeno parece estar estrechamente ligada a la fenología de la vegetación sumergida y flotante, con máximos durante su desarrollo y mínimos durante su descomposición o ausencia.

En casi todos los meses sus aguas se encuentran sobresaturadas de oxígeno.

Los rangos de las concentraciones de oxígeno a lo largo del ciclo estudiado, oscilaron entre 16,9 mg/l en mayo y 8,2 en febrero para el Caño Travieso, y 17,8 mg/l en abril y 6,5 mg/l en diciembre para el Lucio del Aro. El porcentaje de saturación del oxígeno osciló entre 230 % en mayo y 69 % en enero para el primero y 198 % en abril y 57 % en diciembre para el segundo.

En general, podemos decir que las aguas de las estaciones estudiadas son muy ricas en oxígeno, hecho ya anotado por otros autores (Margalef, 1976; Hernando, 1978), y su distribución temporal para las aguas muy eutróficas de Santa Olalla está controlada, básicamente, por la actividad fotosintética del fitoplancton. Con menor intensidad, pero también de forma notable, este factor afecta a las aguas de la Laguna de Medina y Caño Travieso ambas con producción media y con tapiz vegetal denso pero escasa cobertura vegetal para el segundo. La vegetación acuática parece ser la que controla la distribución temporal de este parámetro en las aguas del Lucio del Aro, con baja producción, denso tapiz vegetal de fondo y flotante y poca profundidad.

II.4. Fósforo

Constituye, junto con el carbono, nitrógeno y silicio, uno de los elementos necesarios para el crecimiento de las algas. Se puede decir que es el elemento más estudiado en limnología, pues la mayoría de los estu-

dios demuestran que es el nutriente más importante y el auténtico responsable del desarrollo de las algas (Kalff y Knoechel, 1978). Su ciclo ha de cerrarse entre el agua y los sedimentos y no existe un intercambio con la atmósfera, como en el caso del nitrógeno, por lo que en comparación con los otros componentes estructurales nutricionales, su concentración en las aguas naturales suele ser muy pequeña.

Aunque el fósforo puede encontrarse en el agua combinado en varias formas (soluble, particulado, orgánico, en ácidos húmicos, etc.), sólo se determinó en el estudio el fósforo inorgánico soluble que, junto con el orgánico, parecen ser las formas que tienen realmente una importancia ecológica dentro del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

En las figuras 30, 31, 32 y 33 se representa la distribución temporal de la concentración de fósforo a lo largo del ciclo estudiado, para las cuatro estaciones. En la tabla 11 se expresan sus rangos de variación y sus valores medios para el mismo ciclo.

TABLA 11

ESTADÍSTICOS MAS IMPORTANTES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TÍPICA (s) Y RANGO, DEL PARAMETRO QUÍMICO P-PO₄, PARA LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO ESTUDIADAS DURANTE EL PERIODO 1977/78. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE SE HAN ELABORADO LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máxima | Mínima |
|-------------------------|-----------|------|----|------------------------|---------------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 0,49 | 0,43 | 15 | 1,37 (Junio 1978) | 0,02 (Octubre 1977) |
| Laguna de Santa Olalla. | 1,35 | 1,02 | 13 | 3,71 (Febrero 1978) | 0,06 (Septiembre 1977) |
| Caño Travieso | 2,13 | 2,37 | 8 | 7,06 (Julio 1978) | 0,14 (Abril 1978) |
| Lucio del Aro | 0,91 | 0,95 | 8 | 2,51 (Julio 1978) | 0,06 (Abril 1978) |

En la Laguna de Santa Olalla la concentración de fósforo inorgánico soluble osciló entre 3,71 $\mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$ en el mes de febrero y 0,06 $\mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$ en el mes de septiembre. Su variación estacional se encuentra relacionada con varios factores. Por una parte, el régimen pluviométrico, mediante el agua de escorrentía, trae hacia la laguna un importante aporte de material alóctono. Es muy característico después de las fuertes lluvias, la formación de intensas arroyadas superficiales que corren sobre las arenas poniendo en contacto varias de las lagunas del sistema peri-

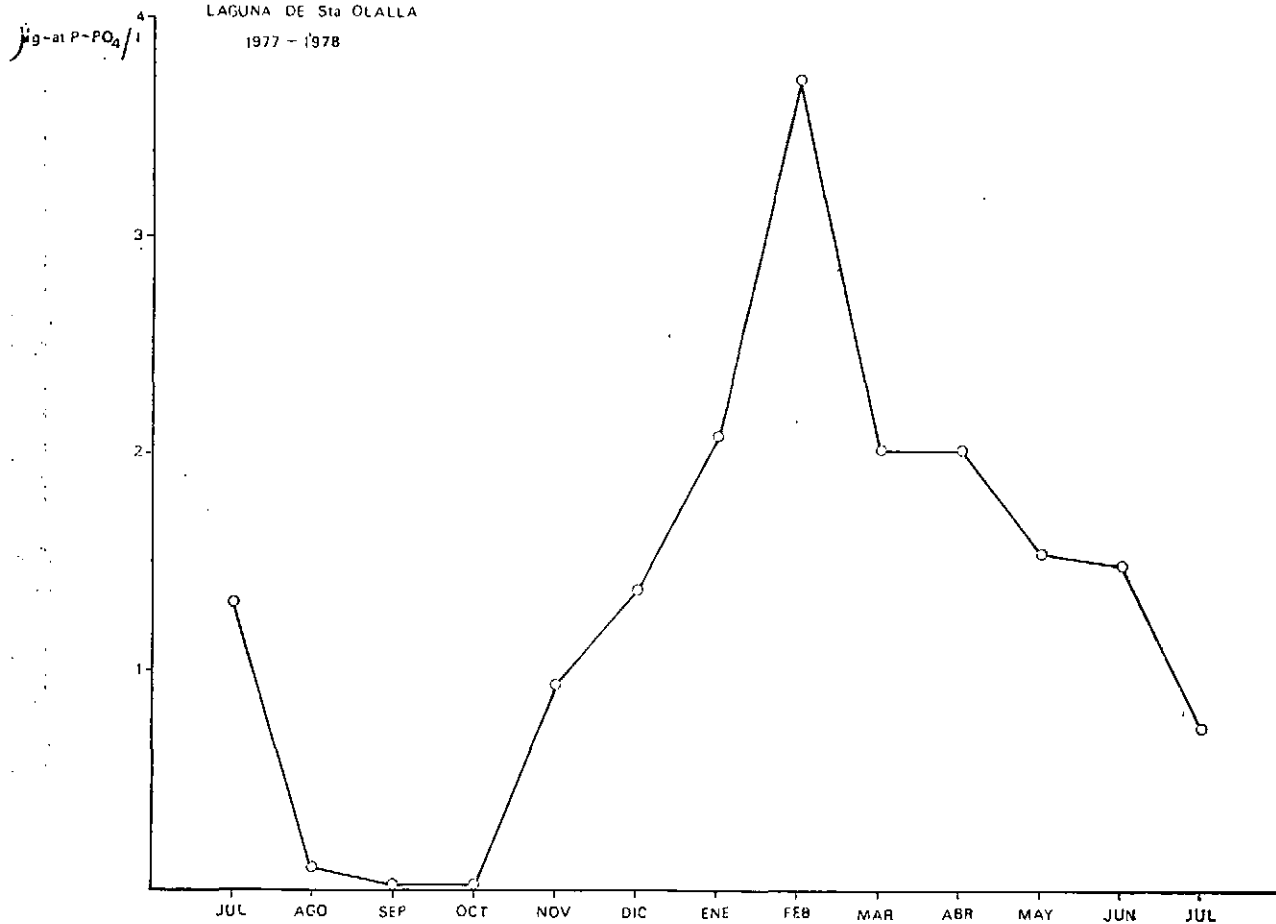


FIGURA 30. Distribución mensual de la concentración de fósforo inorgánico soluble para la estación de muestreo Laguna de Santa Olalla durante el ciclo 1977/78.

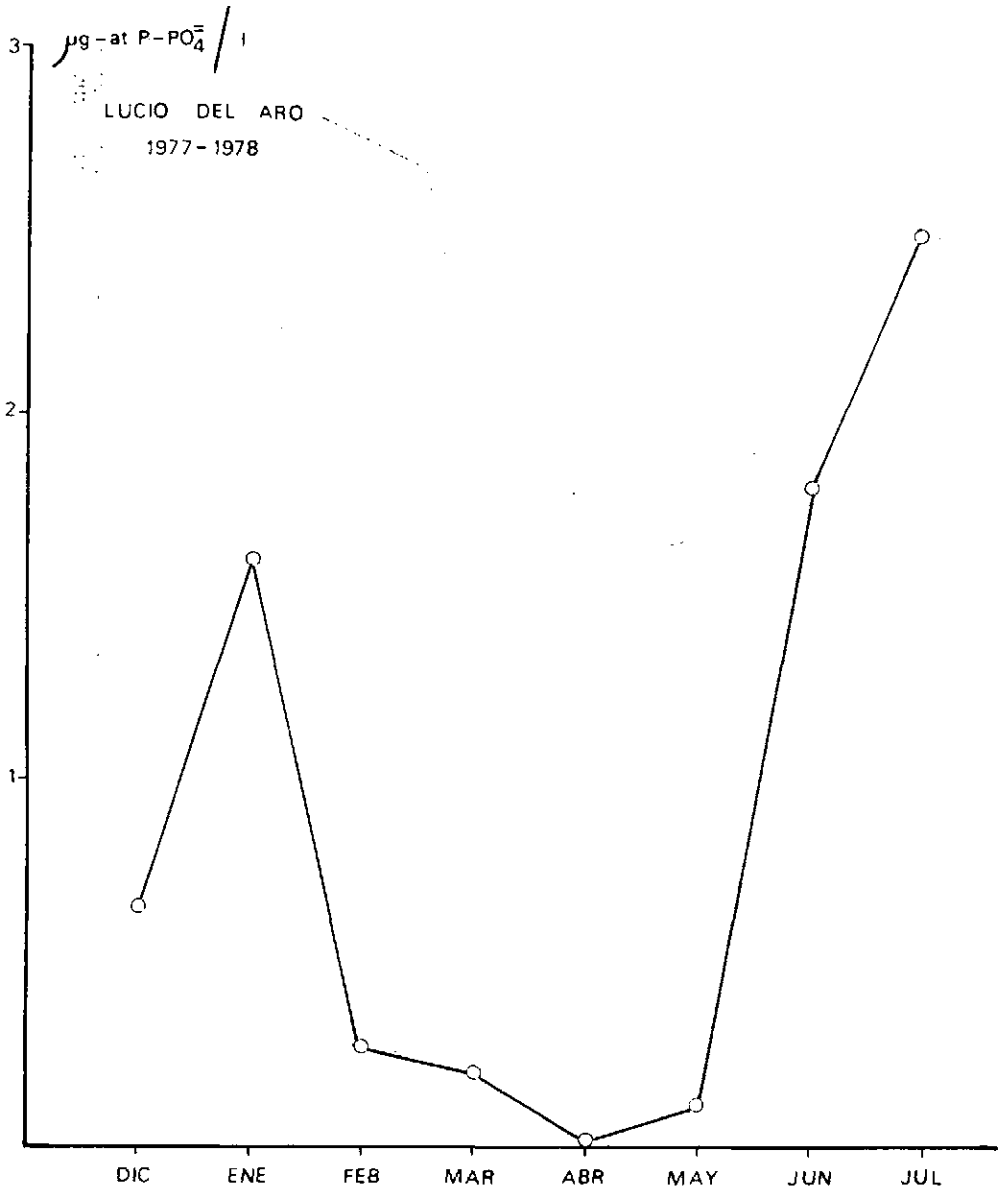


FIGURA 31. Distribución mensual de la concentración de fósforo inorgánico soluble para la estación de muestreo de Lucio del Aro durante el ciclo 1977/78.

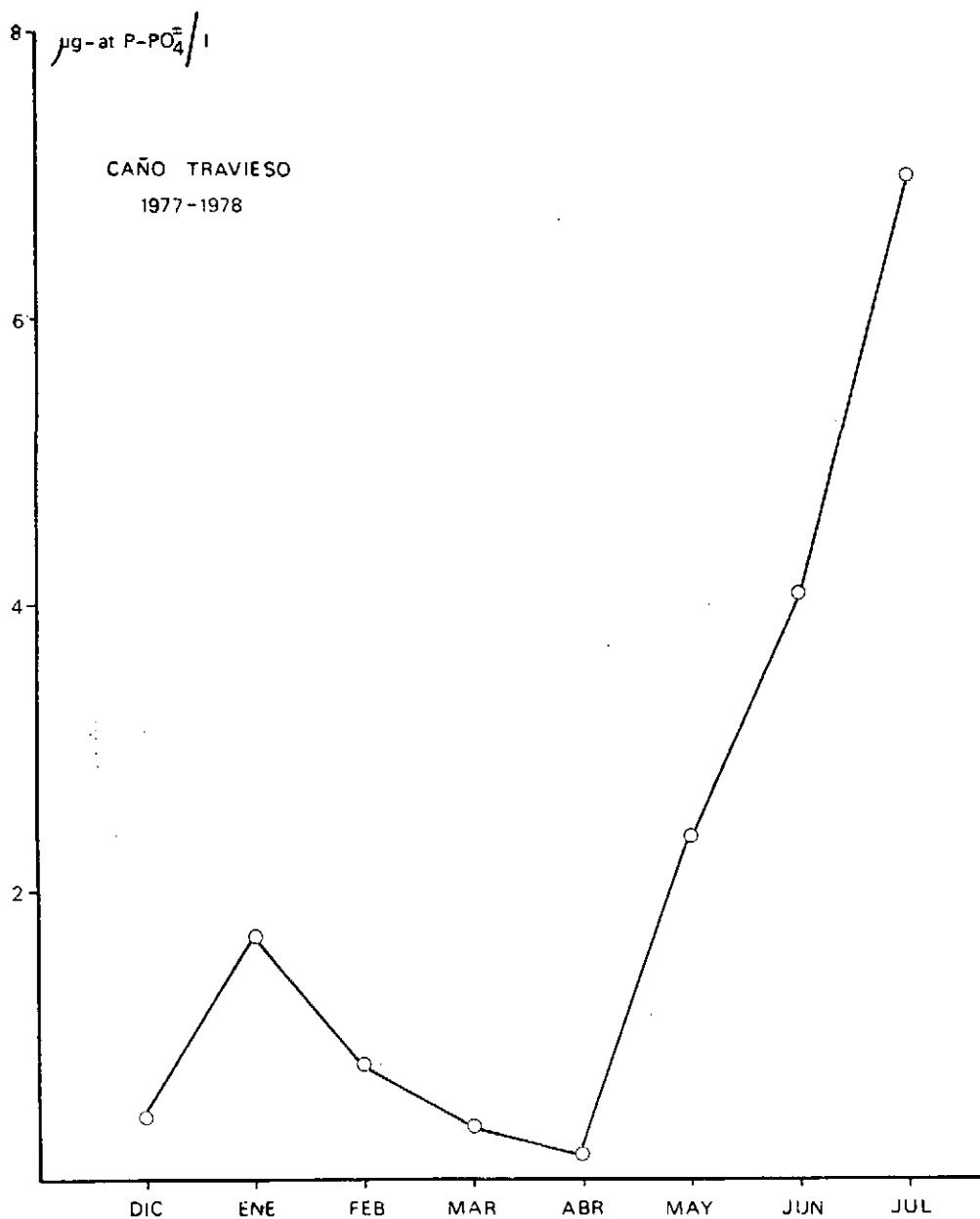


FIGURA 32. Distribución mensual de la concentración de fósforo inorgánico soluble para la estación de muestreo del Caño Traveso durante el ciclo 1977/78.

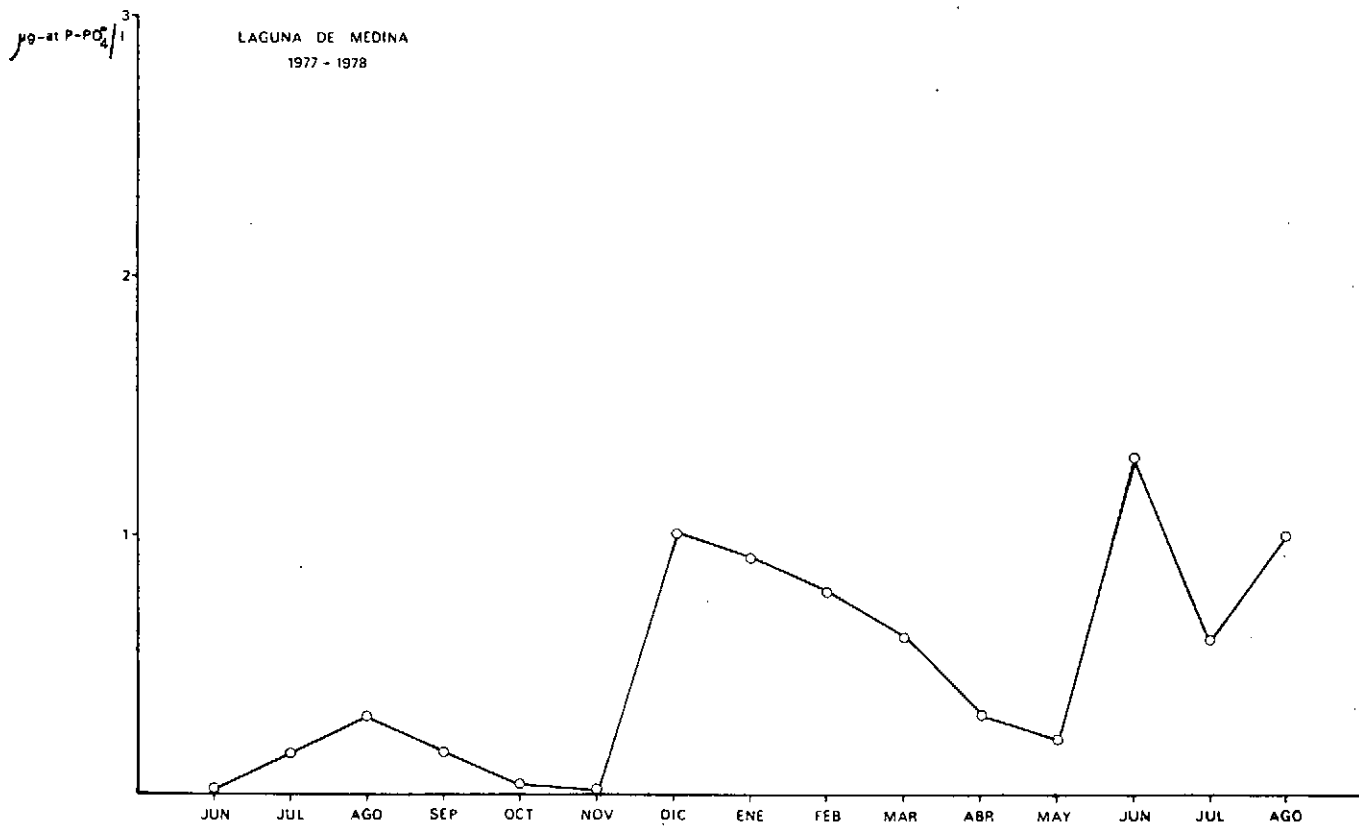


FIGURA 33. Distribución mensual de la concentración de fósforo inorgánico soluble para la estación de muestreo Laguna de Medina durante el ciclo 1977/78.



dunar. También las lluvias actúan, junto con los vientos, removiendo los sedimentos del fondo y liberando parte del fosfato inorgánico soluble. De esta forma, durante el período de lluvias, la concentración de fosfato alcanzó sus valores máximos (enero a abril). Por otra parte, la concentración de fosfato se encuentra íntimamente ligada a la producción primaria de las aguas. El coeficiente de correlación entre este factor y la concentración de clorofila «a» es altamente significativo; $r = -0,78$ ($P \leq 0,01$). De esta forma, durante la fuerte proliferación algal de finales de verano y comienzos de otoño, es cuando la concentración alcanza sus valores mínimos. El consumo de fosfato es muy rápido durante la proliferación algal (Heron, 1961), ya que los organismos fotosintetizadores lo acumulan en su interior y se reparte a las células hijas, pudiéndose continuar la multiplicación de las algas a pesar de haberse alcanzado los valores mínimos de fosfatos en el agua (octubre). Con la llegada de las lluvias en noviembre comienza el aumento de las reservas disponibles de este elemento en el agua hasta llegar a la proliferación de algas de primavera, época en que de nuevo comienza a descender su concentración.

Como laguna eutrófica, es muy posible que su reserva de fósforo sea mucho mayor de la que se encuentra disponible, ya que los cuerpos de agua eutróficos actúan como una trampa de fósforo al quedar éste retenido en sus sedimentos, bien como fosfato cálcico o bien como fosfato férrico, debido a que su solubilidad está limitada por las concentraciones de Ca y Fe (Golterman, 1975). Al aumentar la actividad fotosintética, con el consiguiente aumento del pH, una parte del fosfato precipita con el CO_3Ca englobado con éste (Otsuki y Wetzel, 1972). Este fenómeno debe de producirse en las aguas de Santa Olalla a lo largo de su ciclo, de esta forma se encuentra una correlación positiva significativa con la alcalinidad; $r = +0,69$ ($P \leq 0,01$) y negativa con el pH, $r = -0,66$ ($P \leq 0,05$). Una parte de este fosfato podría volver a entrar en el ciclo, al solubilizarse con la disminución del pH (noviembre-marzo).

Aunque no poseemos datos, parece ser que el hierro también juega un papel importante en las variaciones estacionales de la concentración de fósforo en esta laguna. Margalef (1976) encuentra gran abundancia de organismos que precipitan este elemento en sus caparazones, membranas, vainas como *Trachelomonas*, *Oedogonium*, *Tribonema*, *Closterium*. Hernando (1978) también detecta concentraciones importantes de este elemento. La concentración de hierro puede jugar un papel importante en la puesta en juego del fósforo (Mortiner, 1971), pues en condiciones de elevada tensión de oxígeno se produce fosfato férrico, insoluble, que precipita en los sedimentos del fondo. En condiciones más o menos anae-

róbicas (reductoras), que podrían darse en esta laguna con ritmos diarios en los meses más calurosos (mayo-octubre. Período cálido), en presencia de bacterias rojas del azufre, el ion férrico es reducido a ferroso y el fosfato liberado está disponible de nuevo en el ciclo como nutriente de las plantas. Este proceso es común en los fangos ricos en sulfhídrico, dando como resultado sulfuros de hierro y la solubilización del fosfato, pero, en general, después de todos estos cambios, una fracción del fósforo queda inmovilizada de forma irreversible en el sedimento (Margalef, 1974). Esta puesta en juego de los fosfatos es la que debe dar lugar a los afloramientos de algas en verano y otoño. Este proceso es aprovechado por un fitoplancton formado por elementos muy pequeños (nanoplancton), indicando una extrema reactividad de las poblaciones capaces de aumentar rápidamente en pocos días (Margalef, 1976).

Estos fenómenos ponen de manifiesto la baja efectividad de los sistemas altamente productivos, como lo demuestra su ineficacia relativa en la movilización temporal o permanente de una parte de sus recursos fuera de los organismos, en este caso en los sedimentos, lo cual puede ser causa de un retardo del ciclo (Margalef, 1974).

Margalef (1976) encuentra altas concentraciones de fosfatos en enero de 1973, a pesar de la alta concentración de oxígeno y elevado pH, tal vez debida al bajo nivel de las aguas durante este ciclo. Para el período de estudio, las concentraciones medias de esta laguna fueron mucho menos elevadas y similares al ciclo 1978-79 (Furest, comunicación personal).

En las aguas de estuario, el ciclo del fósforo está sometido a un complejo de interrelaciones entre el sustrato y su columna de agua (Perkins, 1974).

En el caso de los medios acuáticos de marismas, la variación estacional de la concentración de fosfato inorgánico soluble no parece estar ligada al desarrollo del fitoplancton (los coeficientes de correlación con la concentración de clorofila «a» no son significativos; $r = +0,17$ Caño Travieso, $r = +0,38$ para Lucio del Aro, sino más bien al desarrollo del denso tapiz de vegetación macrofítica flotante y sumergida (*Ranunculus baudotii*, *Zannichellia peltata*, *Chara foetida*, etc.), que puede competir con el fitoplancton por el fósforo (Hayes y Phillips, 1958; Holden, 1959). En el Lucio del Aro, los primeros meses, con permanencia del agua de inundación, se caracterizan por un aumento de la concentración de ortofosfato debido a la agitación de los fondos, que pone en disolución los nutrientes atrapados entre el sustrato de su lecho, y da a una pequeña proliferación del nanoplancton en sus aguas. A partir de febrero, con el comienzo de la floración del tapiz flotante de *Ranunculus baudotii*, hasta

el final del desarrollo de *Zannichellia peltata*, en mayo, pasando por la fructificación de *Chara foetida* en abril y mayo, se producen las concentraciones mínimas de este factor en el agua (2,51 a 0,06 $\mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$). Al comenzar todo este tapiz de sus fondos, se va liberando el fósforo atrapado, y éste vuelve a quedar a disposición de los organismos planctónicos provocando su desarrollo, y desplazándose, por tanto, su pico de desarrollo (junio) respecto al de la vegetación (abril-mayo). La disminución del desarrollo del fitoplancton con el aumento extremo de la salinidad y la intensa actividad reductora de los microorganismos sobre la materia orgánica, provoca el aumento final de su concentración en los últimos meses de permanencia del agua.

En el Caño Travieso, la evolución de este factor es prácticamente igual a la del Lucio del Aro, diferenciándose solamente en una mayor concentración media durante el ciclo, y en una mayor concentración media durante el ciclo, y en una mayor concentración de sus mínimos, dando lugar a un mayor desarrollo de las poblaciones fitoplanctónicas. Esto, tal vez sea debido al gran almacenamiento de restos de vegetación en las orillas que, por el viento, puede arrastrar al fósforo liberado en su descomposición (Planas, 1973; Tourenq, 1975). También la cobertura del tapiz vegetal sumergido, en el lugar de la toma de la muestra, da lugar a una competencia menor con la vegetación macrofítica pudiéndose realizar con anterioridad el desarrollo del fitoplancton respecto al Lucio del Aro.

Para la Laguna de Medina, al igual que con los biotopos de marismas, la distribución temporal de este parámetro está también muy ligada a la fenología del tapiz de *Chara foetida* y *Zannichellia peltata* de sus fondos, y al aporte de material alóctono procedente del agua de lluvia y esorrentía.

II.5. Nitrógeno

Aunque parece que, para la mayoría de los medios acuáticos, el fósforo es el macronutriente que actúa como principal factor limitante del desarrollo de las algas, el nitrógeno también puede actuar como limitante para determinadas aguas continentales (Talling, 1966), y para algunos grupos de clorofíceas (Planas, 1973).

El patrón de distribución temporal del nitrógeno resulta muy complicado para aquellos medios acuáticos caracterizados por una escasa profundidad (Sáez-Royuela, 1977; Ulehlova y Pribil, 1978), debido a la relación intensa y permanente entre el sustrato y la columna de agua. Las causas podrían encontrarse en la complejidad de su ciclo. Este se

presenta fundamentalmente como el resultado de una serie de procesos bioquímicos. La reserva de nitrógeno en el agua se encuentra en tres formas: gas disuelto, compuestos inorgánicos (nitrato, nitrito, amonio), y compuestos orgánicos. Aunque principalmente las algas lo absorben en forma de nitrato y amonio hay pasos metabólicos en todas las direcciones y entre todas las formas de combinación (Wetzel, 1975). Las fuentes principales radican en la fijación de nitrógeno atmosférico por algas y bacterias, en la precipitación atmosférica y en las aguas subterráneas y de drenaje. Las pérdidas son debidas a la salida de agua del medio, a la reducción del NO_3 a N_2 por desnitrificación bacteriana y a la pérdida de nitrógeno orgánico e inorgánico en los sedimentos del fondo. De esta forma, el ciclo ocupa las interfases atmósfera-agua y sedimentos.

Por tanto, para poder comprender la distribución temporal de este parámetro, haría falta conocer la proporción estacional de las distintas formas en que se encuentra, junto con la composición cuantitativa y cualitativa de las comunidades bacteriológicas y de fitoplancton de las aguas. En este estudio sólo se pudo analizar las concentraciones de nitratos, nitritos y clorofila «a» en la hidrofase del cuerpo de agua. De todas formas, se pudieron detectar algunos patrones generales de variación.

En las figuras 34, 35, 36 y 37 se representan las distribuciones temporales de las concentraciones de NO_3 y NO_2 a lo largo del ciclo estudiado para las estaciones de muestreo. En las tablas 12 y 13 se expresan los valores medios y los rangos de estos dos parámetros para el ciclo anual estudiado.

TABLA 12

ESTADISTICOS MAS IMPORTANTES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TIPICA (s) Y RANGO, DEL PARAMETRO QUIMICO N- NO_3 , PARA LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO, DURANTE EL PERIODO 1977/78. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE SE HAN ELABORADO LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máxima | Mínima |
|-------------------------|-----------|-------|----|---------------------------|---|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 1,87 | 2,50 | 15 | 7,69 (Diciembre 1977) | Inapreciable (Febrero- Junio 1978) |
| Laguna de Santa Olalla. | 39,94 | 29,74 | 13 | 93,32 (Diciembre 1977) | 3,44 (Septiembre 1977) |
| Caño Travieso | 8,14 | 11,58 | 8 | 28,88 (Febrero 1978) | Inapreciable (Marzo, mayo y junio 1978) |
| Lucio del Aro | 0,58 | 0,83 | 8 | 1,99 (Enero 1978) | Inapreciable (Diciembre 1977, marzo-julio 1978) |

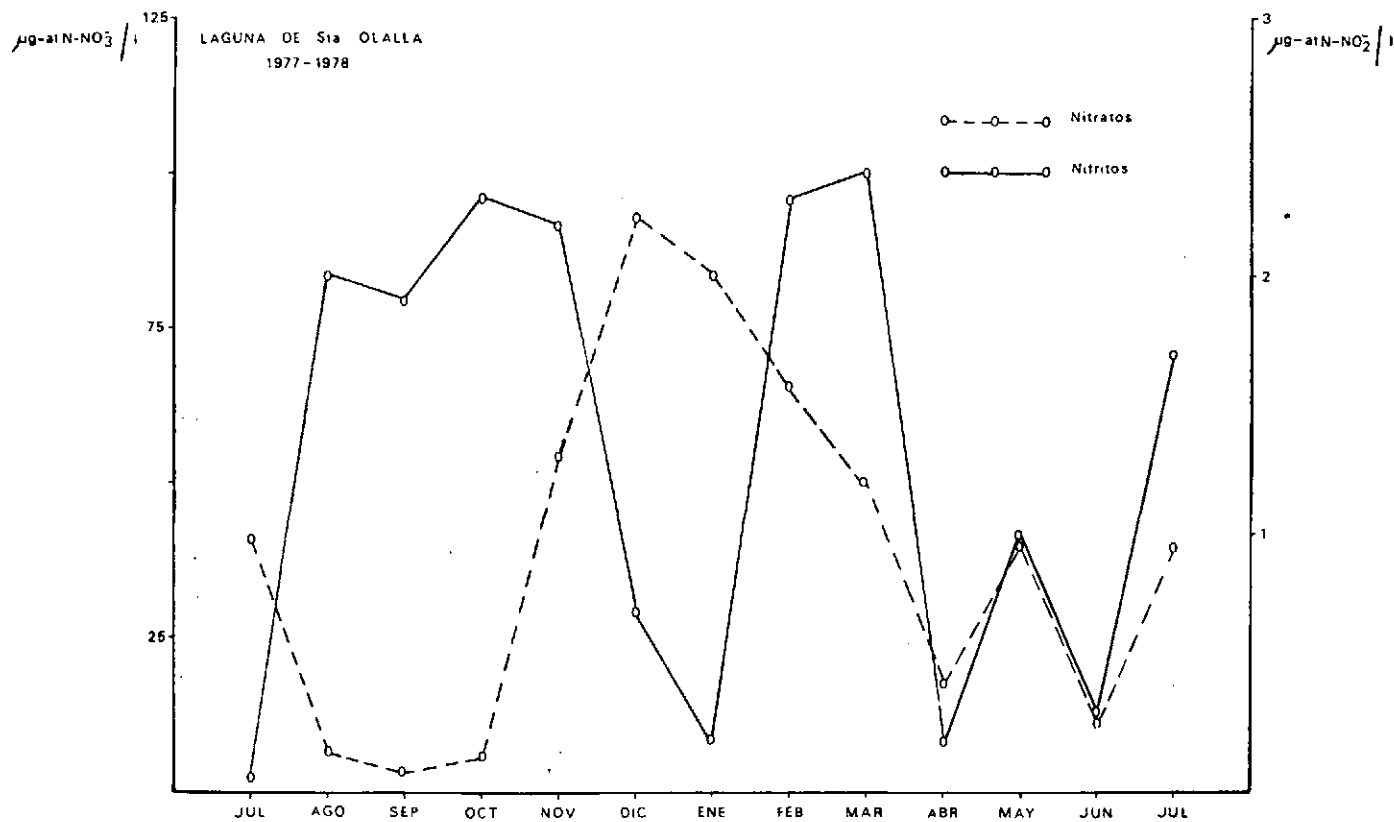


FIGURA 34. Distribución mensual de la concentración de $N-NO_2$ y $N-NO_3$ para la estación de muestreo Laguna de Santa Olalla durante el periodo 1977/78.

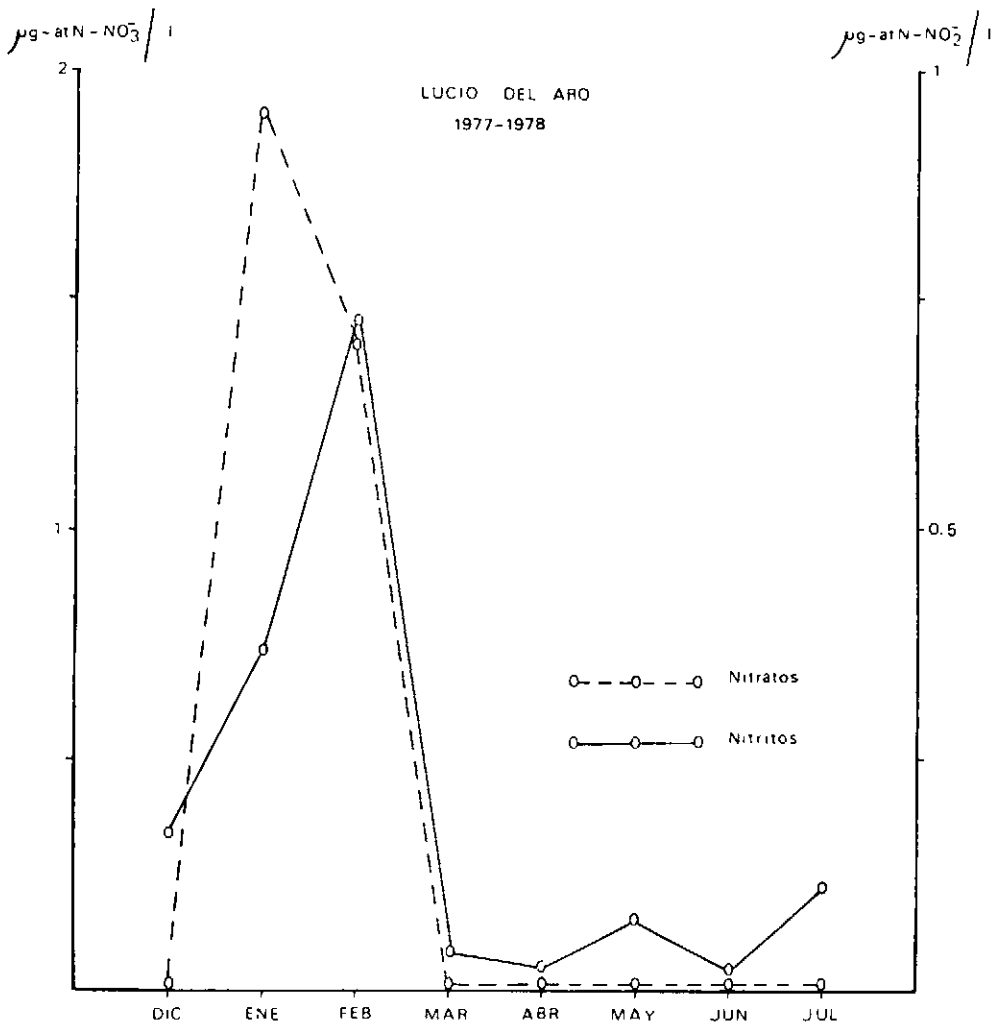


FIGURA 35. Distribución mensual de la concentración de N-NO₂ y N-NO₃ para la estación de muestreo Lucio del Aro durante el período 1977/78.

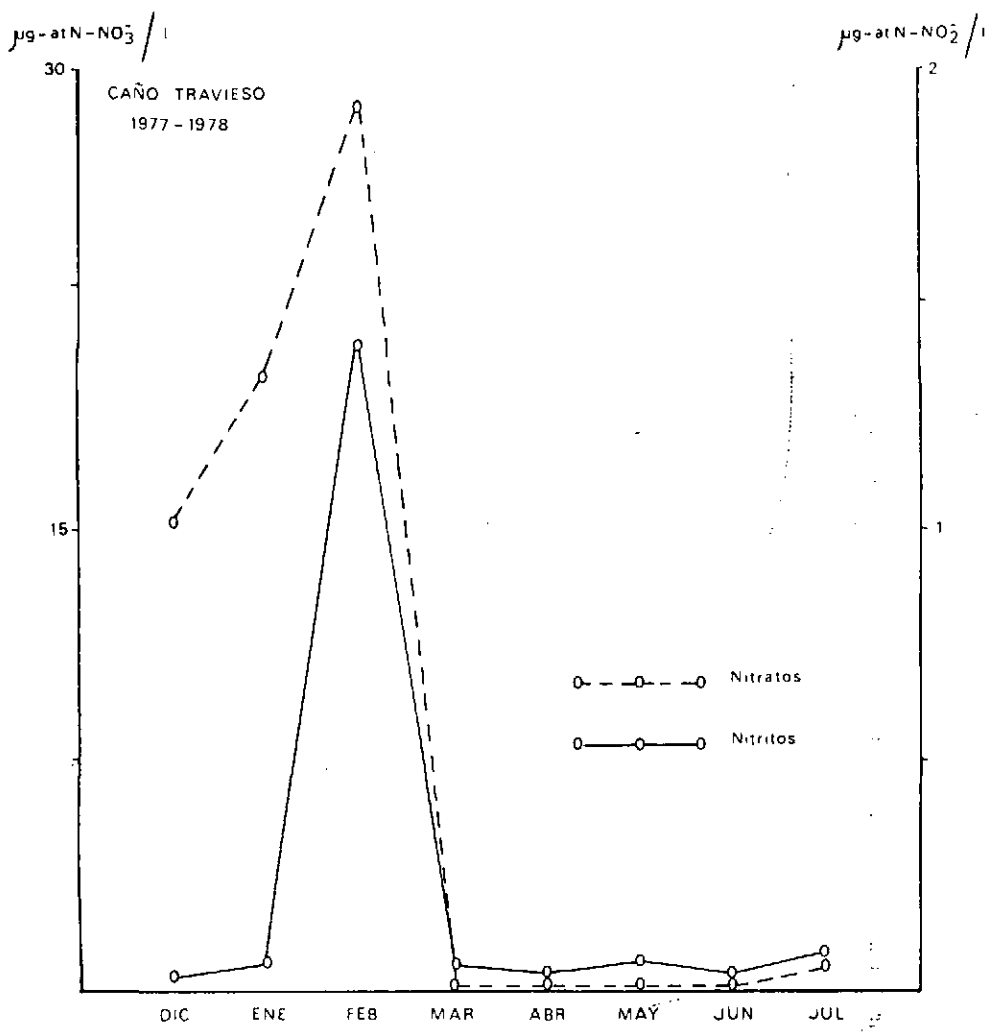


FIGURA 36. Distribución mensual de la concentración de N-NO_2 y N-NO_3 para la estación de muestreo Caño Travieso durante el periodo 1977/78.

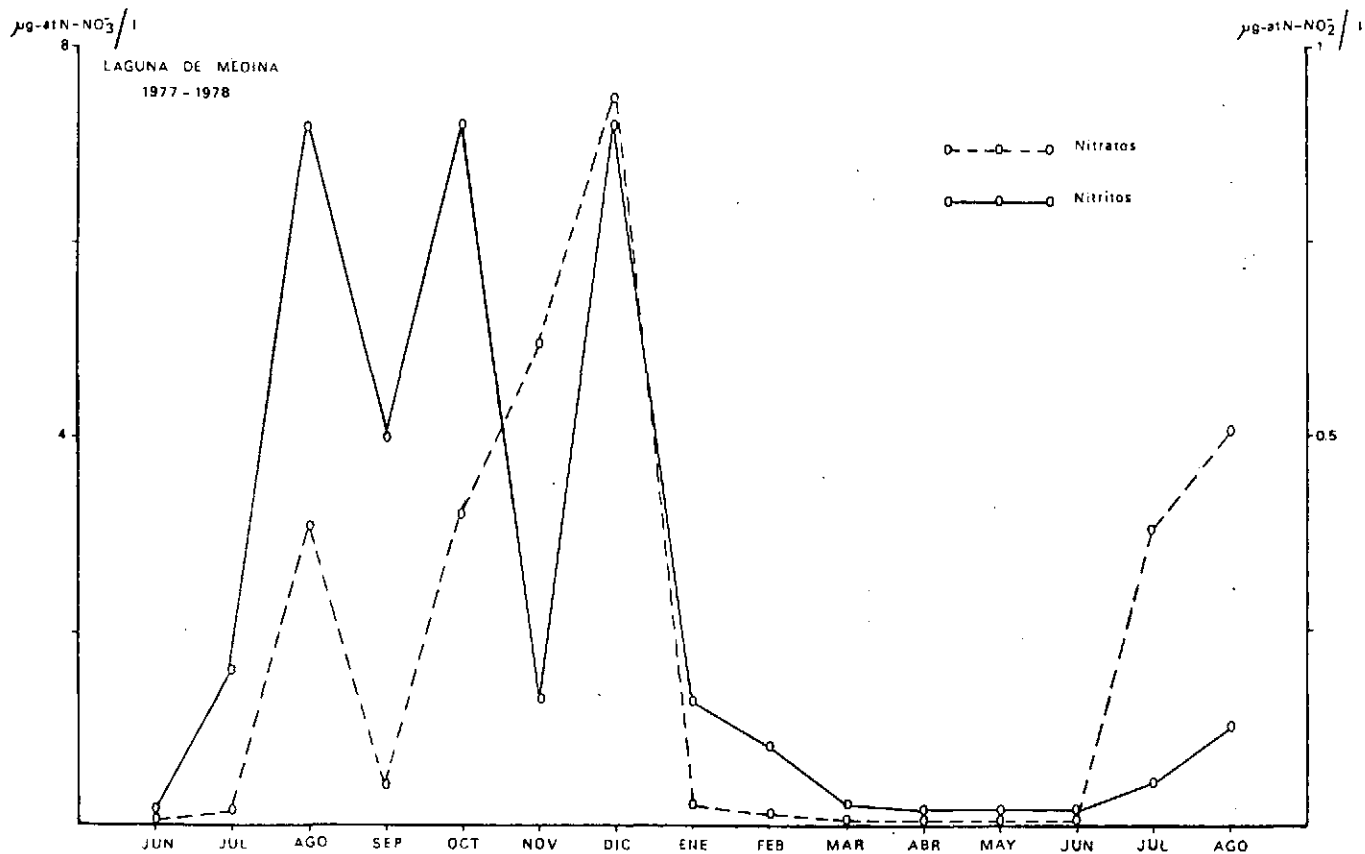


FIGURA 37. Distribución mensual de la concentración de N-NO₂ y N-NO₃ para la estación de muestreo Laguna de Medina durante el periodo 1977/78.

TABLA 13

ESTADÍSTICAS MAS IMPORTANTES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TIPICA (s) Y RANGO, DEL PARAMETRO QUIMICO N-NO₂, PARA LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO, DURANTE EL PERIODO 1977/78. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE SE HAN ELABORADO LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máxima | Mínima |
|-------------------------|-----------|------|----|--------------------------|--------------------------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 0,28 | 0,36 | 15 | 0,93 (Diciembre 1977) | Inapreciable (Abril y junio 1978) |
| Laguna de Santa Olalla. | 1,36 | 0,94 | 13 | 2,45 (Marzo 1978) | 0,06 (Julio 1977) |
| Caño Travieso | 0,22 | 0,49 | 8 | 1,45 (Febrero 1978) | 0,01 (Abril 1978) |
| Lucio del Aro | 0,19 | 0,24 | 8 | 0,72 (Febrero 1978) | 0,02 (Abril y junio 1978) |

En el caso de la Laguna de Santa Olalla, debido a la baja transparencia de sus aguas, provocada por la gran cantidad de sólidos en disolución, y la alta producción de las mismas, es muy probable que pueda existir una estratificación vertical de este factor al crearse un balance entre la asimilación del nitrógeno en la zona trofogénica y la desnitrificación en la zona trofolítica (Wetzel, 1966).

También parece que en esta laguna es muy importante la fuente de nitrógeno molecular obtenida por fijación del nitrógeno atmosférico, al encontrarse en las aguas (Margalef, 1976) algas cianofíceas, típicas fijadoras, con heterocistes como *Anabaena cylindrica*, *Anabaenopsis tanganykae*, *Tolypothrix tenuis*.

Durante el ciclo estudiado, la concentración de nitratos oscilaba entre 93,32 $\mu\text{g-at N-NO}_3/\text{l}$ en diciembre y 3,44 $\mu\text{g-at N-NO}_3/\text{l}$ en septiembre.

La distribución temporal de este parámetro tiene sus valores mínimos durante el fuerte desarrollo algal de verano y otoño. Durante este período también puede haber pérdida de nitratos, sobre todo en las orillas, debido a procesos de desnitrificación por bacterias anaeróbicas. La concentración de nitrato, aunque disminuye considerablemente, no llega a valores limitantes, como es frecuente en las lagunas costeras (Comin y Ferrer, 1979), debido, por una parte, a la fijación de nitrógeno atmosférico por las algas cianofíceas, y por otra, al aporte de nitrógeno inorgánico más oxidado, producido por las bacterias nitrificantes en condiciones aeróbicas. Después, el aporte de agua por las lluvias y la escorrentía trae consigo un aumento de su concentración (noviembre-marzo),

hasta llegar a la proliferación algal de primavera y comienzos de verano, en que disminuye de nuevo la concentración.

En el resto de las estaciones estudiadas, caracterizadas por unos fondos ocupados por un tapiz de vegetación acuática más o menos denso, casi todo el nitrato presente puede encontrarse incorporado en sus células, detectándose concentraciones mínimas en sus aguas (Maitland, 1978). En el Lucio del Aro, en donde se encuentra el tapiz vegetal más denso, las concentraciones de nitratos estaban entre los límites de detección del método usado ($0,05 \mu\text{g-at N-NO}_3$), y sólo se midieron concentraciones apreciables durante los meses de enero y febrero, coincidiendo con las fuertes lluvias, mínimos de fitoplancton y comienzo del desarrollo de *Ranunculus baudotii*. Después no se detectan concentraciones apreciables, principalmente debido al desarrollo del total de la vegetación acuática. Cuando ésta comienza a desaparecer y mineralizarse, al existir concentraciones de fosfatos, el desarrollo de algas consume todo el nitrato existente, dando pequeños afloramientos (Toja, 1976). Esta situación es muy favorable para el desarrollo de algas cianofíceas que pueden fijar nitrógeno atmosférico, como *Calothrix*, *Nostoc* y *Cylindrospermum*, encontradas por Margalef (1976) en las aguas de inundación de las marismas.

En el Caño Travieso, la distribución temporal de los nitratos sigue una evolución similar a la anterior, aunque, como en el caso de los fosfatos, su concentración media es mayor, pero estrechamente ligada a la vegetación de fondo.

La Laguna de Medina, al igual que las estaciones de marisma, presenta un comportamiento similar, aunque, al igual que con la concentración de fosfatos, la interacción con la vegetación acuática sumergida es menos intensa, debido al mayor volumen de la columna de agua respecto a la superficie del tapiz vegetal.

Respecto a la concentración de NO_2 , al encontrarse éste en una posición intermedia entre los procesos de oxidación del amonio y reducción de los nitratos, el ciclo o distribución temporal de su concentración es muy irregular y, por tanto, de difícil interpretación (Hutchinson, 1957), algunas veces evoluciona de una forma inversa a la concentración de nitratos y otras de una forma paralela (Planas, 1973).

II.6. Silicio

El silicio se presenta en las aguas continentales en cantidades moderadas y en distintas formas según el pH. Posee una gran importancia en el ciclo de desarrollo de las algas diatomeas. Estas asimilan gran can-

tividad de silicio para la síntesis de sus frústulos, modificando enormemente las tasas de este elemento en los ecosistemas acuáticos. La disponibilidad del silicato en estos ecosistemas puede tener una gran importancia en la sucesión y productividad de sus aguas.

En las figuras 38, 39, 40 y 41 se representa la distribución temporal de las concentraciones de silicato reactivo a lo largo del ciclo estudiado para las estaciones de muestreo consideradas. En la tabla 14 se expresan los valores medios y los rangos de variación de este parámetro para el ciclo estudiado.

TABLA 14

ESTADÍSTICOS MAS IMPORTANTES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TIPICA (s) Y RANGO, DEL SILICIO PARA LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO, DURANTE EL PERIODO DE 1977/78. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE SE HAN ELABORADO LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máxima | Mínima |
|----------------------------|-----------|-------|----|----------------------------|------------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 17,93 | 17,84 | 15 | 58,77 (Septiembre 1977) | 1,85 (Mayo 1978) |
| Laguna de Santa Olalla ... | 178,93 | 98,22 | 13 | 333,35 (Febrero 1978) | 21,14 (Agosto 1977) |
| Caño Travieso | 25,54 | 23,85 | 8 | 78,99 (Diciembre 1977) | 4,63 (Abril 1978) |
| Lucio del Aro | 14,58 | 43,06 | 8 | 35,29 (Diciembre 1977) | 2,22 (Mayo 1978) |

Resulta difícil explicar la distribución temporal del silicato sin poseer datos sobre la evolución de la composición taxonómica del fitoplancton a lo largo del ciclo anual estudiado, para poder detectar la influencia de la actividad de las diatomeas, pues, en general, su ciclo corresponde con el de este grupo de algas.

En la Laguna de Santa Olalla, las concentraciones de SiO_4 oscilaron entre 21,4 $\mu\text{g-at Si/l}$ en agosto y 333,35 $\mu\text{g-at Si/l}$ en febrero, con una media de 178,93 $\mu\text{g-at Si/l}$. Los períodos de menor concentración de SiO_4 coinciden con el desarrollo del plancton de finales de verano-principios de otoño y el de primavera, probablemente muy influenciado en su composición por las diatomeas; el resto del ciclo, las aguas se presentan muy ricas en silicio, debido a su sustrato de arenas, y se mantiene en solución por el alto valor de la reserva alcalina de la laguna. En el resto de las estaciones, las concentraciones medias son bastante más bajas, debido al carácter arcilloso de sus lechos. Sus valores máximos coinciden con las

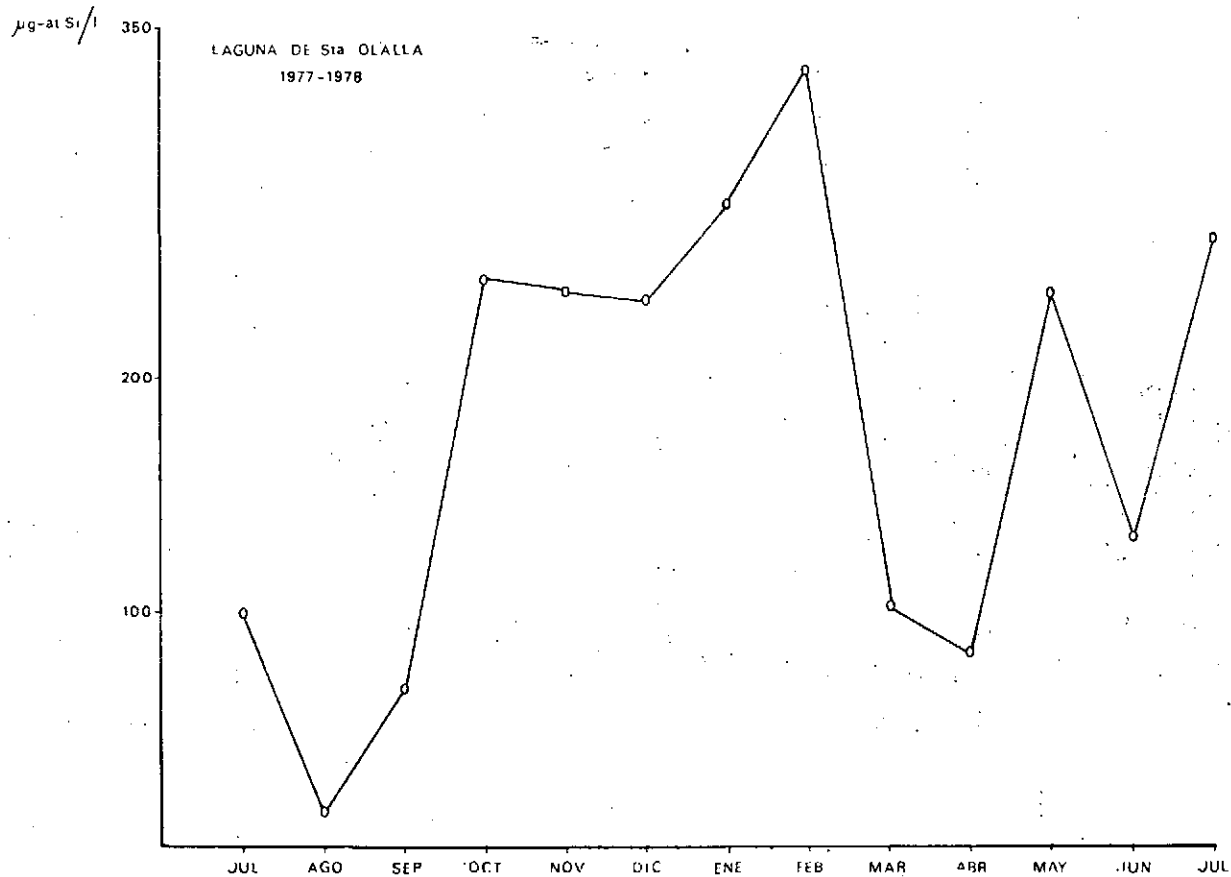


FIGURA 38. Distribución mensual del silicato para la estación de muestreo de Laguna de Santa Olalla durante el período 1977/78.

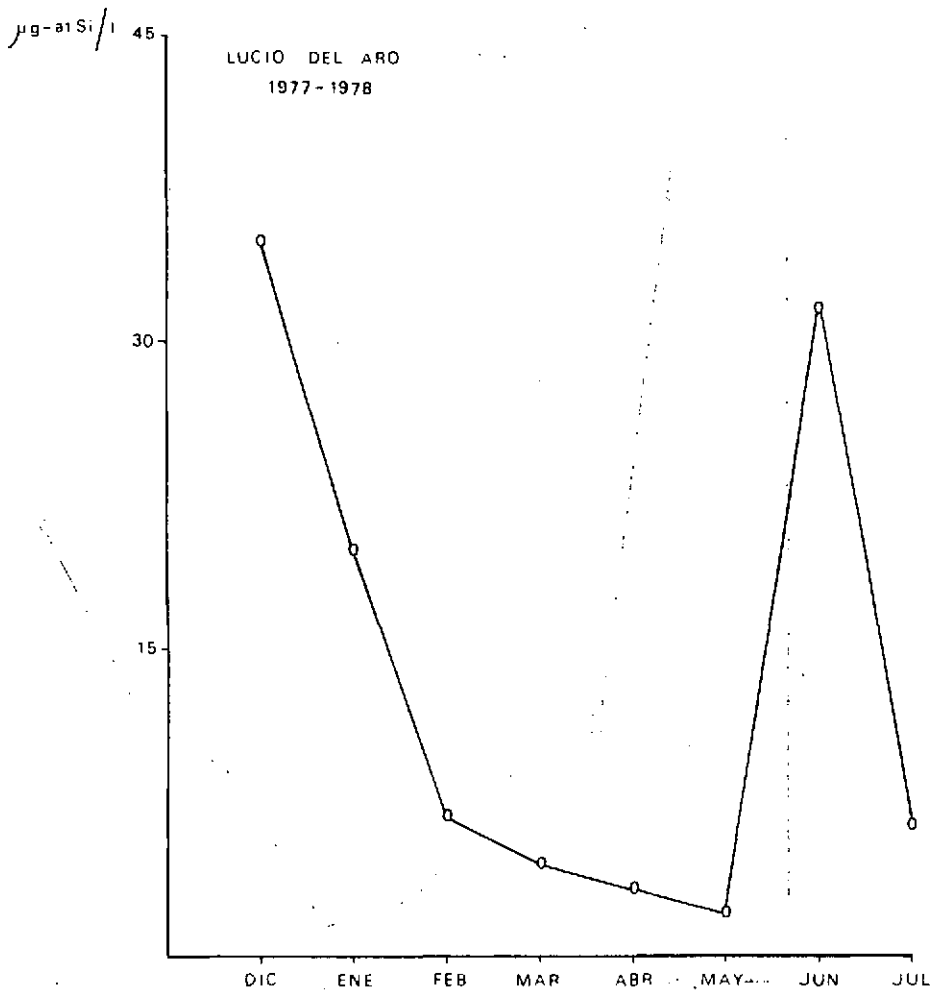


FIGURA 39. Distribución mensual del silicato para la estación de muestreo de Lucio del Aro durante el periodo 1977/78.

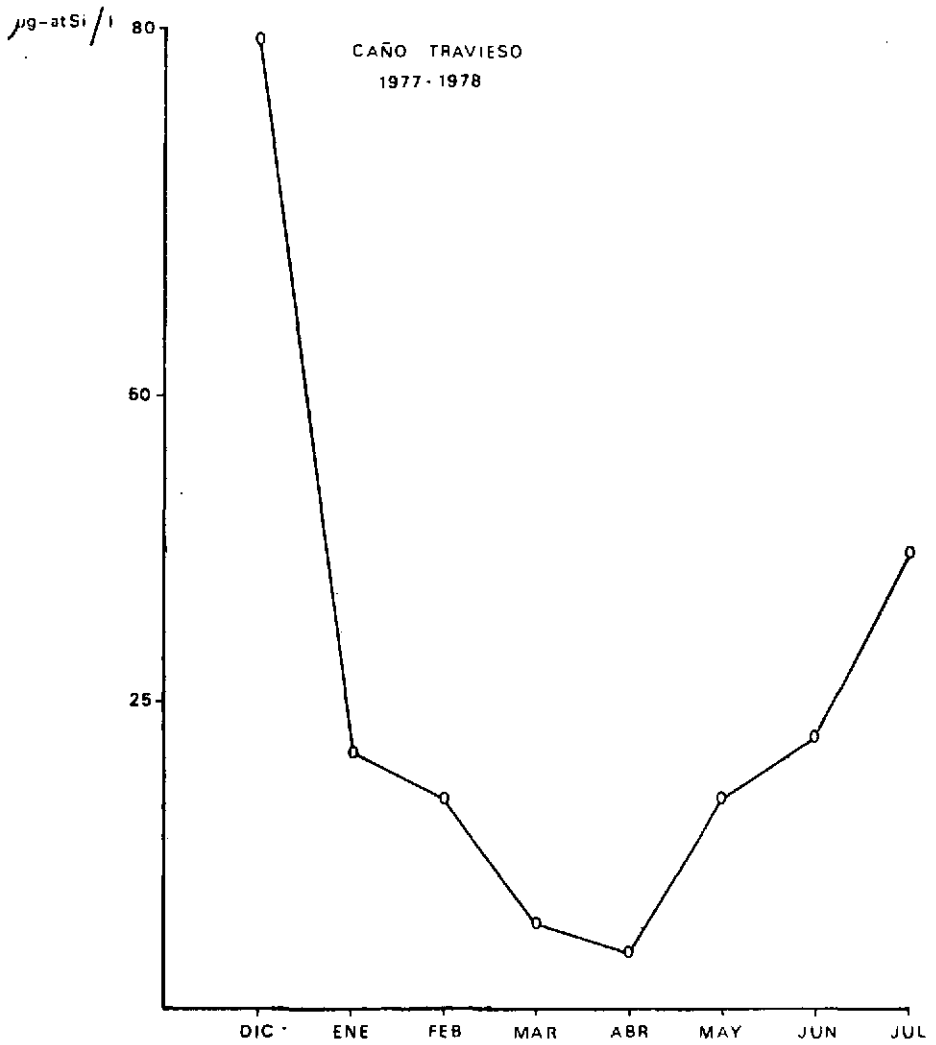


FIGURA 40. Distribución mensual del silicato para la estación de muestreo del Caño Traveso durante el periodo 1977/78.

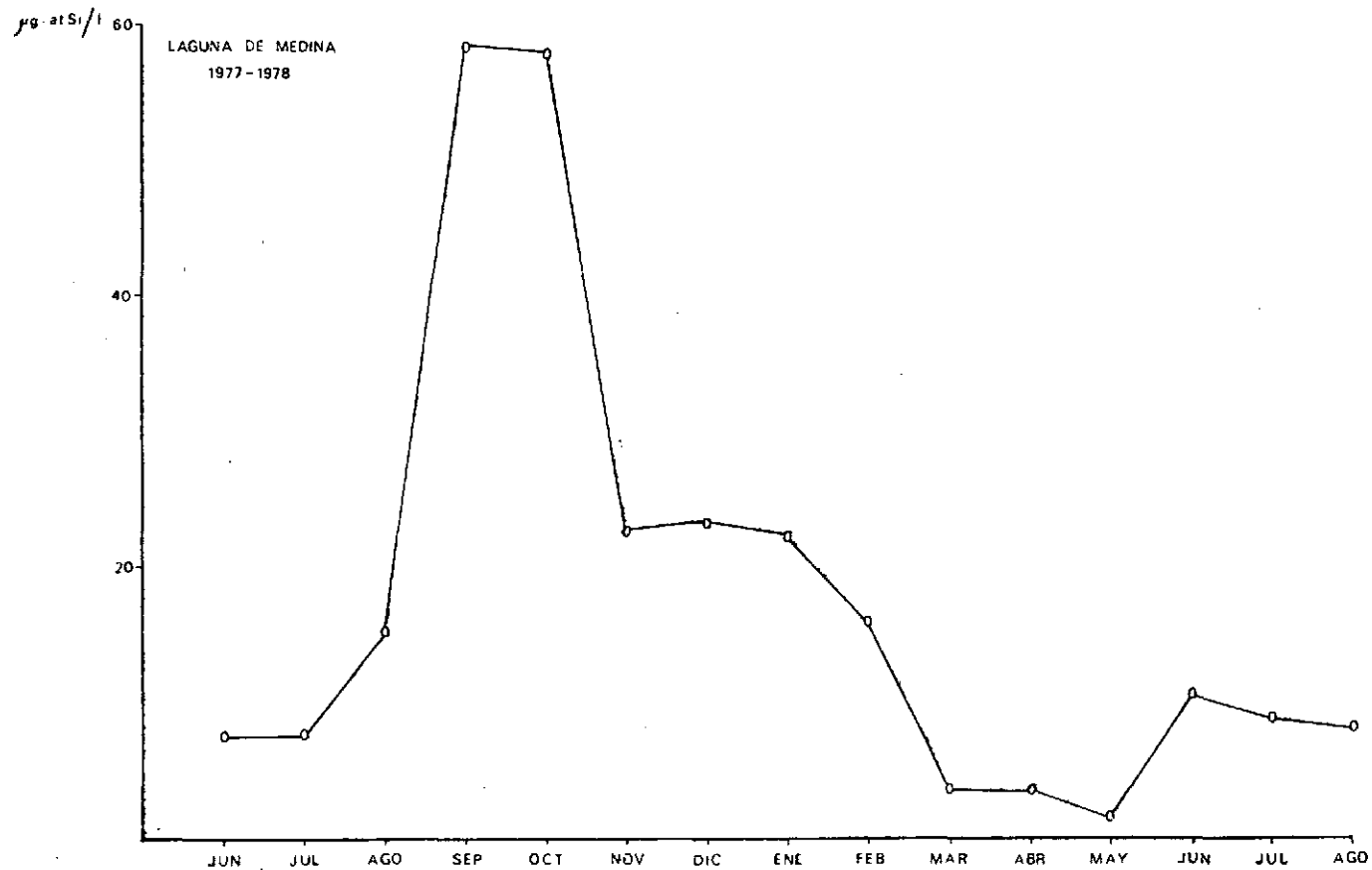


FIGURA 41. Distribución mensual del silicato para la estación de muestreo Laguna de Medina durante el periodo 1977/78.

entradas de aguas. El aumento considerable que tiene lugar al final del ciclo puede estar asociado a la elevación de la temperatura e intensificación de la descomposición del plancton.

III. FACTORES BIOLÓGICOS

III.1. *Pigmentos fotosintéticos*

El fitoplancton es la base de entrada de la energía en los ecosistemas acuáticos y, por tanto, la base de su mantenimiento. Conocer o poder detectar de alguna forma los cambios que van ocurriendo a lo largo del ciclo anual en el nivel de productores primarios (algas y bacterias autótrofas) es fundamental para poder comprender los cambios que pueden suceder con los organismos heterótrofos (consumidores, saprofitos).

Para poder hacer una estima aproximada de la capacidad fotosintética del fitoplancton se midió la cantidad de clorofila en el agua de las estaciones estudiadas, ya que la producción del plancton está íntimamente ligada a la concentración de este factor. Por tanto, su medida supone un índice del potencial de producción del ecosistema. Únicamente se ha puesto atención a la medida de la concentración de clorofila «a», puesto que éste es el pigmento más abundante e importante en los organismos fotosintetizadores, y el que puede dar una mayor información (Vollenweider, 1974).

La interferencia más importante que puede presentar esta estima es que el método de medida no diferencia entre los pigmentos funcionales y los liberados o retenidos en las células muertas, por lo que los pigmentos con metabolismo o degradación lenta, como es el caso de las clorofilas típicas (Ballester, 1973), pueden interferir con las determinaciones espectrofotométricas al presentar picos de absorción muy próximos a los de la clorofila sin degradar o funcional (Nieto, 1970).

La calidad de pigmentos se midió mediante el índice de pigmentos D_{430}/D_{665} (Margalef, 1960), que expresa la relación resto de pigmentos/clorofila «a», y es un indicador de la composición y estado fisiológico de la comunidad de algas (Margalef, 1968; Nieto, 1970). Este índice ha sido discutido y criticado por varios autores (Antia y cols., 1963; Lucas, 1968; Winner, 1969, 1972), pues depende de un gran número de factores ambientales (composición taxonómica, temperatura, intensidad lumínica, disponibilidad de nutrientes) y fisiológicos (edad de las células, estado metabólico, clorofilas detriticas), como para esperar de él unas relaciones fáciles de interpretar. Tal vez, por esto, pueda tener un gran interés ecológico como indicador de la complejidad de la dinámica del ecosis-

tema (Toja, 1976). Cuando el índice se obtiene con cuidado y sus valores se analizan críticamente, puede reflejar de una manera significativa el estado de la comunidad (Margalef, 1974).

III.1.1. *Clorofila «a»*

En las figuras 42, 43, 44 y 45 se representa la evolución temporal de la concentración de clorofila «a» e índice de pigmentos D_{430}/D_{665} , y en las tablas 15 y 16 se expresan los valores medios, desviaciones típicas y rangos de variación de estos parámetros para las estaciones estudiadas a lo largo de un ciclo anual.

TABLA 15

ESTADÍSTICOS MAS IMPORTANTES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TÍPICA (s) Y RANGO, DE LA CLOROFILA «a» PARA LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO DURANTE EL PERIODO 1977/78. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE SE HAN ELABORADO LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máxima | Mínima |
|----------------------------|-----------|--------|----|-----------------------------|------------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 4,37 | 4,57 | 15 | 18,31 (Julio 1977) | 0,70 (Marzo 1978) |
| Laguna de Santa Olalla ... | 218,63 | 249,55 | 13 | 677,63 (Septiembre 1977) | 3,38 (Febrero 1978) |
| Caño Travieso | 7,36 | 7,62 | 8 | 19,83 (Junio 1978) | 0,16 (Febrero 1978) |
| Lucio del Aro | 2,01 | 2,25 | 8 | 6,99 (Junio 1978) | 0,16 (Febrero 1978) |

TABLA 16

ESTADÍSTICOS MAS IMPORTANTES, MEDIA (\bar{X}), DESVIACION TÍPICA (s) Y RANGO, DE INDICE DE PIGMENTOS D_{430}/D_{665} PARA LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO DURANTE EL PERIODO 1977/78. SE INDICA EL NUMERO DE MESES (n) SOBRE LOS QUE SE HAN ELABORADO LOS RESULTADOS

| Estación | Media | | | Máxima | Mínima |
|----------------------------|-----------|------|----|-------------------------------|---------------------------|
| | \bar{x} | s | n | | |
| Laguna de Medina | 4,26 | 1,58 | 15 | 7,00 (Marzo y agosto 1978) | 2,36 (Diciembre 1977) |
| Laguna de Santa Olalla ... | 2,58 | 0,66 | 13 | 3,78 (Enero 1978) | 1,89 (Septiembre 1977) |
| Caño Travieso | 4,64 | 3,22 | 8 | 12,50 (Febrero 1978) | 2,89 (Diciembre 1977) |
| Lucio del Aro | 4,91 | 2,55 | 8 | 11,00 (Febrero 1978) | 2,87 (Diciembre 1977) |

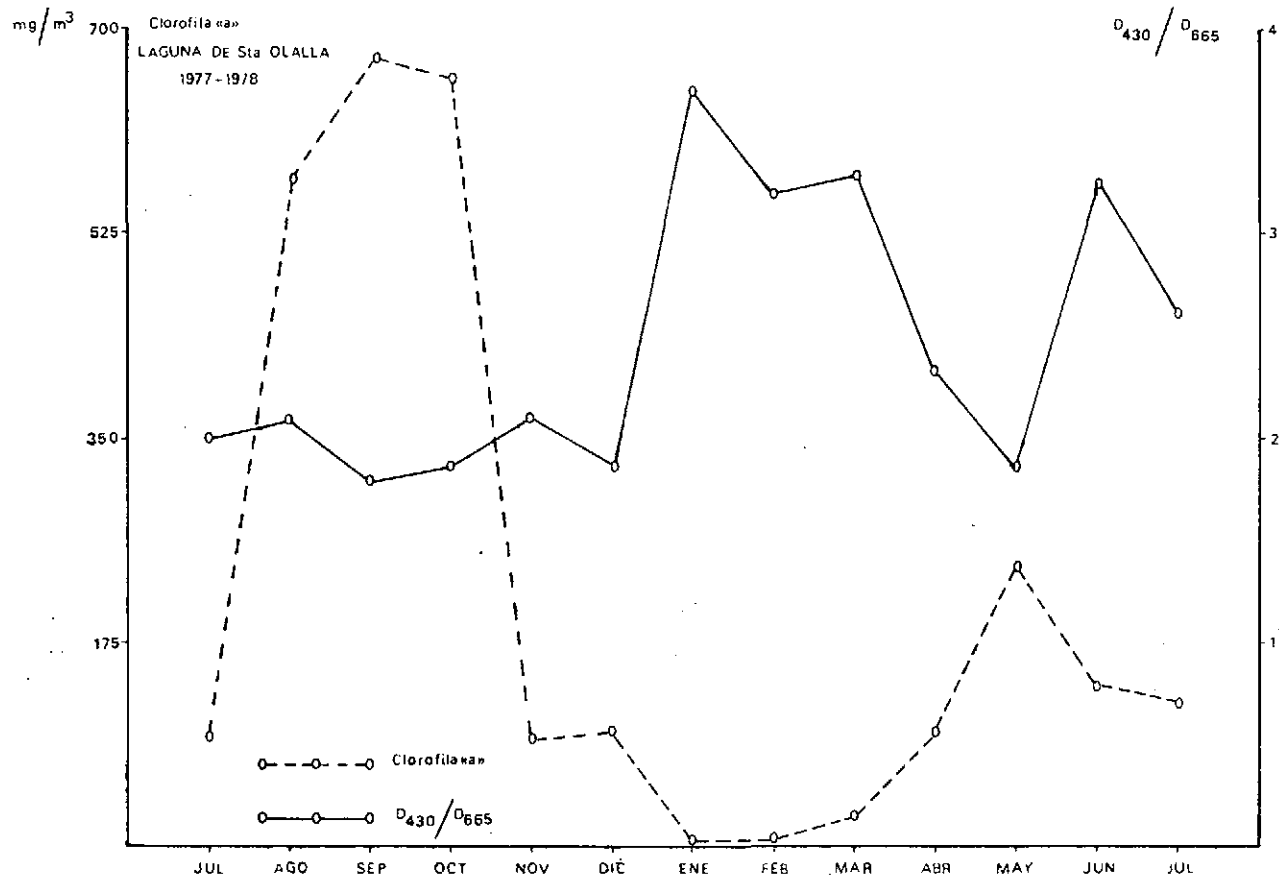


FIGURA 42. Distribución mensual de la concentración de clorofila «a» e índice de pigmentos D_{430}/D_{665} para la estación de muestreo de Laguna de Santa Olalla durante el período 1977/78.



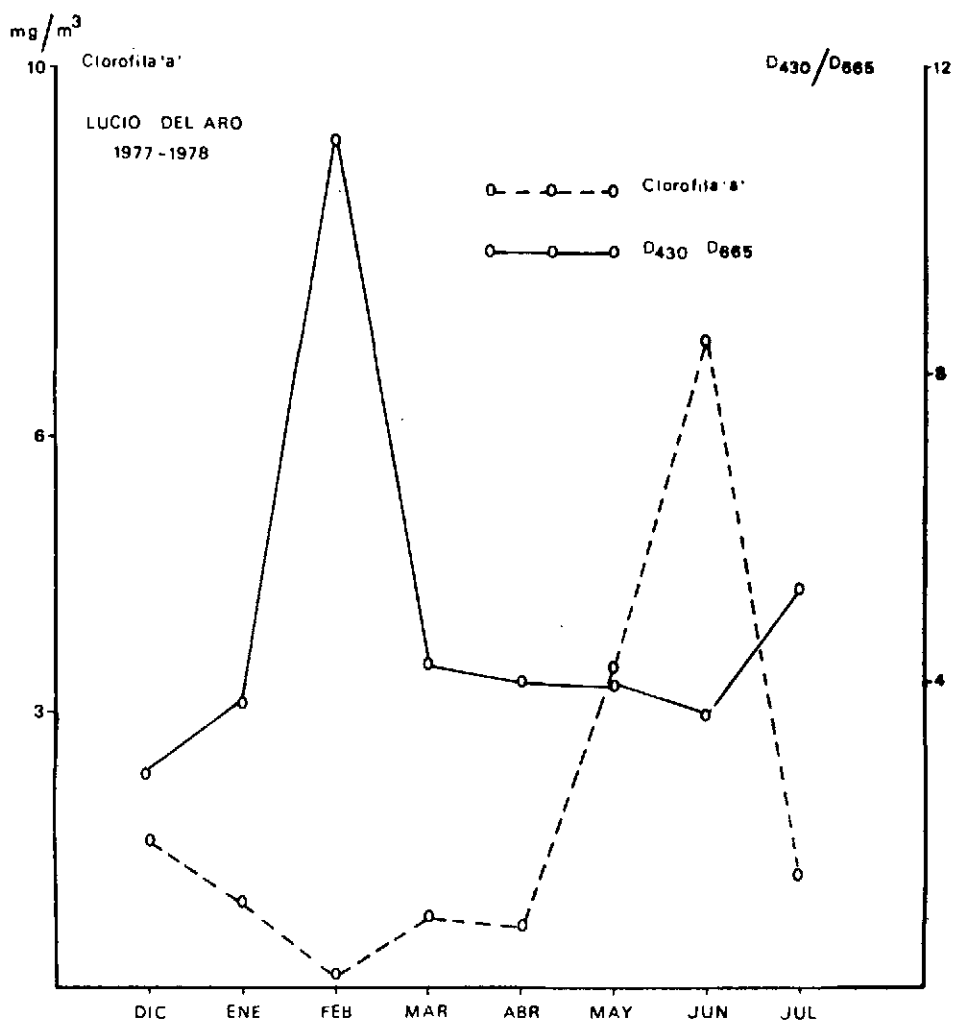


FIGURA 43. Distribución mensual de la concentración de clorofila «a» e índice de pigmentos D_{430}/D_{665} para la estación de muestreo del Lucio del Aro durante el período 1977/78.

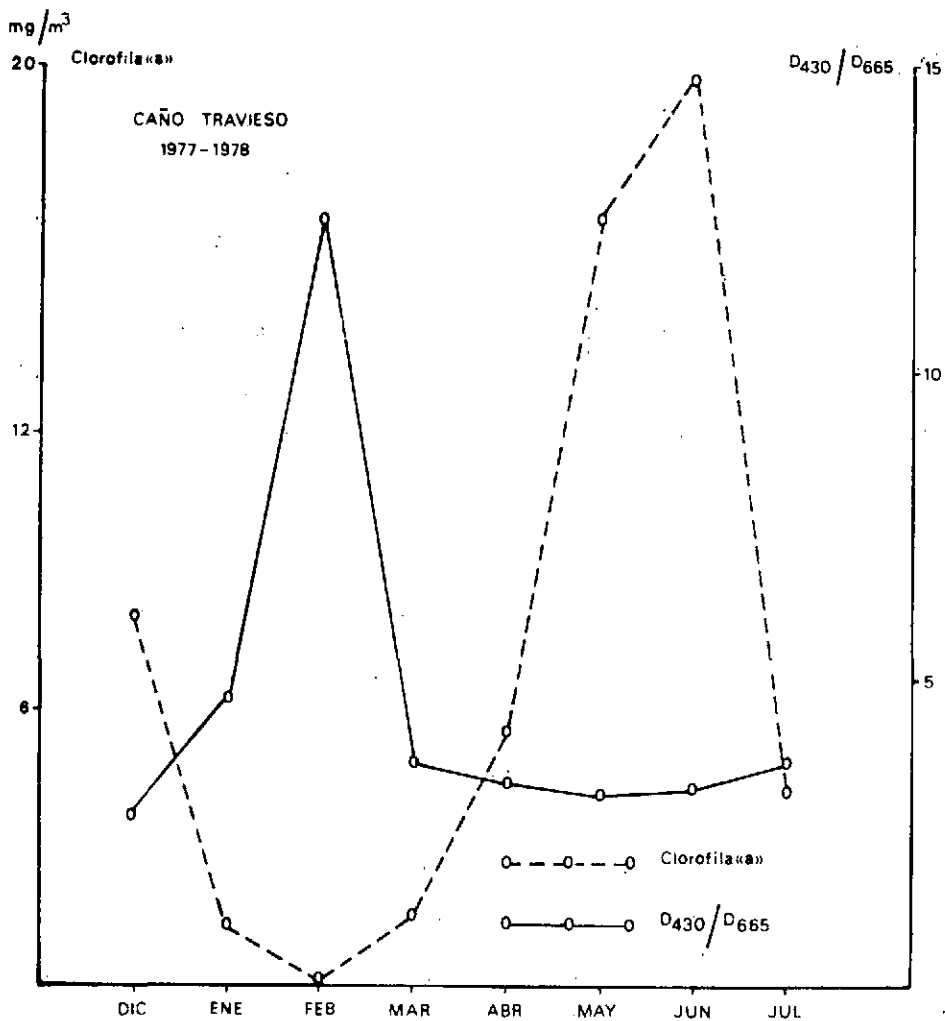


FIGURA 44. Distribución mensual de la clorofila «a» e índice de pigmentos D_{430}/D_{665} para la estación de muestreo del Caño Traveso durante el período 1977/78.

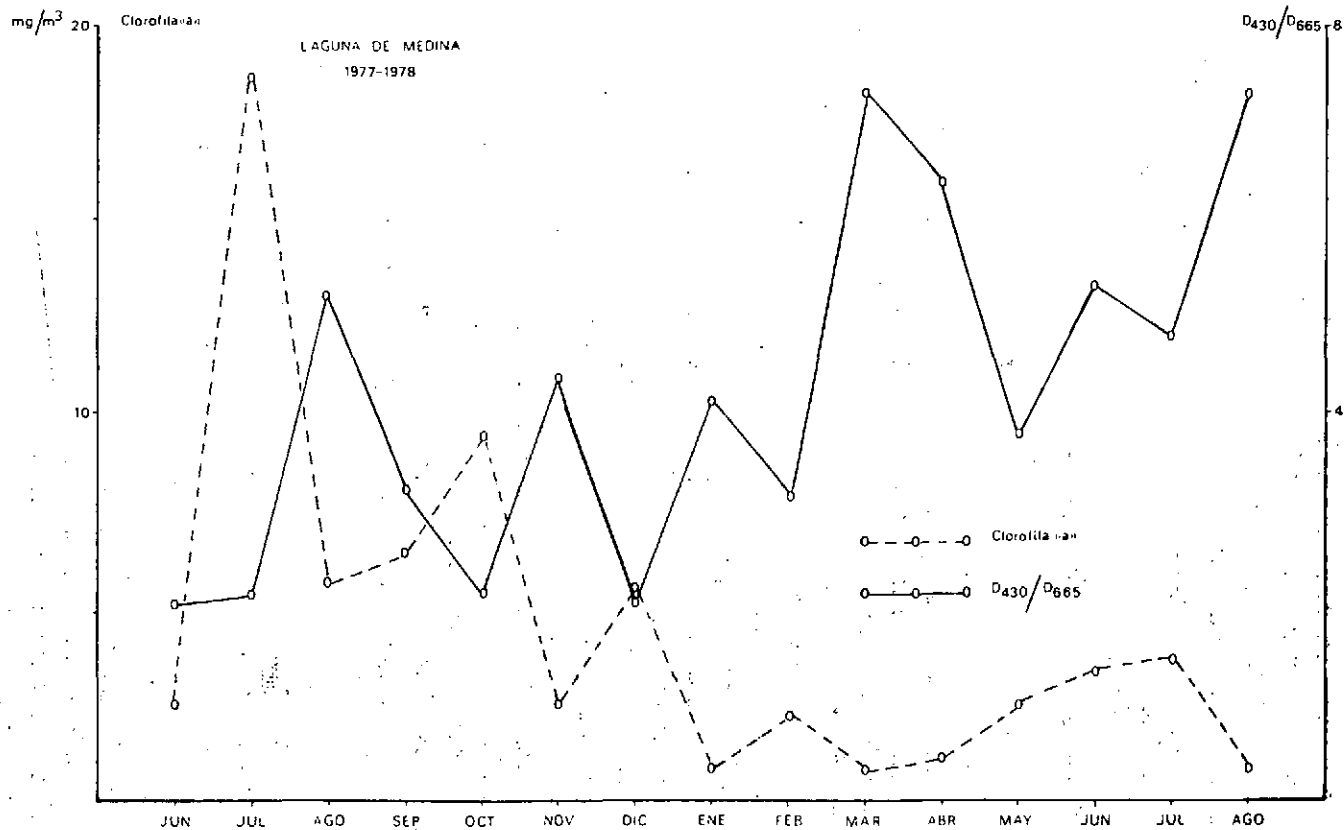


FIGURA 45. Distribución mensual de la clorofila «a» e índice de pigmentos D_{430}/D_{665} para la estación de muestreo de Laguna de Medina durante el período 1977/78.

Aunque no se tomaron datos sobre la composición taxonómica del fitoplancton, ni del número y tamaño de sus células, a lo largo del ciclo estudiado, se pueden apreciar algunos patrones generales de variación.

En la Laguna de Santa Olalla, la concentración de clorofila «a» osciló entre 677,63 mg/m³ en septiembre y 3,38 mg/m³ en febrero, con una media anual de 218,63 mg/m³. Por supuesto, es necesario recordar que a partir de 30 mg/m³ (300 mg/m²) la concentración es ineficaz.

En general, podemos distinguir en el ciclo un plancton de primavera y comienzos de verano, un plancton de finales de verano y otoño y un plancton de invierno, aunque no se pudieron caracterizar los grupos taxonómicos que acompañan a cada fase.

Durante final del verano y el otoño tiene lugar el mayor afloramiento de todo el ciclo dándose los máximos desde agosto a octubre; esta fase coincide con los valores mínimos de fosfatos y nitratos. Probablemente sea un período debido a diatomeas, pues también se producen los mínimos de las concentraciones de silicatos. Después hay una disminución considerable de la clorofila, aunque todavía la concentración es alta y, tal vez por la escasez de nitrógeno, sea un período favorable para las cianofíceas. Durante el invierno disminuye considerablemente su valor, dándose los mínimos en enero y febrero (3,87-3,38 mg/m³). Para el plancton de invierno no parece que sean los macronutrientes los que limiten su crecimiento, pues durante este período se encuentran sus valores máximos, sino más bien las bajas temperaturas e intensidad de la luz (Yentsch y Scarcel, 1968). Con el aumento de la temperatura en la primavera, comienza un nuevo afloramiento, éste de menor intensidad que el anterior, y con un máximo en mayo (243,25 mg/m³), tal vez debido en un comienzo a las diatomeas, pues trae consigo una pequeña disminución en la concentración de silicatos hasta llegar al plancton de verano compuesto probablemente por clorofíceas.

En el caso del resto de las estaciones de muestreo estudiadas caracterizadas por poseer un tapiz de vegetación acuática más o menos denso en sus fondos, que afecta directamente la disponibilidad de los nutrientes, hace que la actividad del fitoplancton se encuentre muy ligada al estado fisiológico o de desarrollo de este tapiz.

Para el Lucio del Aro y Caño Travieso, con las primeras lluvias se produce una disolución de nutrientes en sus fondos y tiene lugar un pequeño afloramiento de algas que con la llegada del invierno disminuye, registrándose los valores mínimos del ciclo (0,16 mg/m³ en febrero), en las dos estaciones. El desarrollo de la vegetación a finales de febrero hace que el plancton se mantenga en valores muy bajos, debido a la esca-

sez de nutrientes que se encuentran atrapados en el tapiz vegetal y hasta que no comienza su descomposición y posterior liberación mediante los procesos de mineralización no empieza a desarrollarse realmente el plancton de estos medios. De esta forma se dan los máximos de producción en junio, 6,99 mg/m³ para el Lucio del Aro y 19,83 mg/m³ para el Caño Travieso. Con el aumento muy rápido de la salinidad, a pesar de la disponibilidad de nutrientes en el agua, la producción primaria disminuye considerablemente (Aguesse y Marazanof, 1965) en el último mes de permanencia del agua. Las concentraciones detectadas se deben fundamentalmente a clorofilas detríticas.

En el caso de la Laguna de Medina, tal vez debido al mayor volumen de la columna de agua en relación al tapiz vegetal sumergido, las interacciones entre éste y el fitoplancton son menos intensas y el plancton se desarrolla en pulsos dentro de dos períodos grandes de actividad, verano y primavera, y uno de inactividad en invierno.

III.1.2. Índice de pigmentos D_{430}/D_{665}

En la Laguna de Santa Olalla los valores del índice oscilaron entre 3,78 y 1,89, con un valor medio de 2,58. Durante la intensa proliferación de finales de verano y comienzos de otoño el índice oscila entre 2,13 y 1,89. Tal vez para estos meses de julio, agosto y septiembre, la influencia de las diatomeas en la composición taxonómica del plancton sea muy importante, a pesar de presentar el índice de valores muy bajos, pues se detecta una disminución considerable de la concentración de silicatos. A partir de septiembre hasta octubre, los valores disminuyen, dándose sus mínimos anuales, caracterizando un posible plancton de cianofíceas que encontrarían condiciones óptimas para su desarrollo con el bajo contenido de nitratos en el agua, provocado por el consumo de la proliferación algal anterior. Durante el invierno los valores oscilaron entre 1,94 y 3,30, probablemente debido al desarrollo de clorofíceas y criptofíceas. Por último, durante la primavera oscila entre 1,94 y 3,37, que coincide con una disminución de los silicatos, posiblemente debida a una nueva proliferación de las diatomeas.

En general, excepto para el Lucio del Aro, la distribución temporal del índice de pigmentos evoluciona en sentido inverso a la concentración de clorofila «a». Los coeficientes de correlación entre estos dos parámetros resultan significativos; $r = -0,78$ ($P \leq 0,01$) para la Laguna de Santa Olalla; $r = -0,62$ ($P \leq 0,05$) para la Laguna de Medina; $r = -0,763$ ($p \leq 0,05$) para el Caño Travieso, y $r = -0,545$ (no significativo) para el Lucio del Aro. Esta relación inversa podría indicar un reju-

venecimiento de la comunidad, con el consiguiente aumento de clorofila, explicado por la presencia de un plancton formado por elementos pequeños (nanoplancton) (Margalef, 1976) caracterizado por la extrema reactividad de sus poblaciones que son capaces de aumentar rápidamente en pocos días, en condiciones ambientales favorables, provocando un desarrollo o proliferación a pulsos.

Para el Lucio del Aro, Caño Travieso y Laguna de Medina, los valores del índice oscilaron entre 2,36 y 12,5, con unos valores medios de 4,64, 4,91 y 4,26, para el Caño Travieso, Lucio del Aro y Laguna de Medina, respectivamente. Estos valores más altos, con respecto a la Laguna de Santa Olalla, pondrían de manifiesto la existencia de un fitoplancton con abundancia de diatomeas, hecho ya anotado por Margalef (1976).

III.2. Grado de eutrofización

Se han propuesto diversos índices para ser utilizados como indicadores del estado trófico de un cuerpo de agua, destacando entre ellos la transparencia, la concentración de clorofila «a», sólidos disueltos, concentración de fósforo, producción primaria, seston, D_{400}/D_{600} , etc. (Winner, 1972; Kalf y Knoechel, 1978).

Shapiro y cols. (1975) proponen un índice de estado trófico (TSI_d) basado en la profundidad de visión del disco de Secchi en metros (D_m).

$$TSI_d = 10 (6 - \log_2 D_m)$$

Teniendo en cuenta la relación que existe entre la visión del disco de Secchi y la clorofila «a», a los mismos autores, asimismo, proponen un índice de estado trófico a partir de la concentración de clorofila «a» (TSI_{chl}).

$$TSI_{chl} = 10 \left(6 - \frac{2,04 - 0,68 \ln \text{clorofila «a»}}{\ln 2} \right)$$

En la tabla 17 se expresan los valores medios y las desviaciones típicas, entre paréntesis, de los parámetros e índices más importantes utilizados para definir el grado de eutrofización de los medios acuáticos estudiados.

TABLA 17

VALORES MEDIDOS Y ENTRE PARENTESIS DESVIACION TIPICA DE VARIOS INDICES DE EUTROFIA EN LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO, DURANTE EL PERIODO DE 1977/78

| Indice | Laguna de Medina | Laguna de Santa Olalla | Caño Travieso | Lucio del Aro |
|---|------------------|------------------------|----------------|---------------|
| Transparencia | 100,0 % | 24,23 cm (23,23) | 100,0 % | 100,0 % |
| TSI_d | — | 86,57 (14,13) | — | — |
| Clorofila «a» mg/m ³ | 4,37 (4,57) | 218,63 (249,55) | 5,58 (6,18) | 2,15 (2,39) |
| TSI_{chl} | 40,97 (9,24) | 74,81 (16,80) | 42,94 (15,541) | 32,41 (11,04) |
| Fosfato $\mu\text{g.at P-PO}_4/\text{l.}$ | 0,48 (0,44) | 1,35 (1,02) | 1,87 (2,43) | 0,81 (0,98) |

La medida del grado de eutrofización mediante la visión del disco de Secchi (Rawson, 1960) sólo presentó valores para la Laguna de Santa Olalla con una media de 24,23 cm. Las restantes estaciones presentaban una transparencia total.

Los valores del índice de estado trófico basado en este parámetro (TSI_a) oscilaron, para la Laguna de Santa Olalla, entre 63,22 en enero hasta 106,44 en noviembre, con el valor medio de 86,56, los órdenes de magnitud de ambos criterios son realmente muy elevados (Margalef y varios, 1976), poniendo de manifiesto el alto nivel de eutrofización de la laguna. Las estaciones estudiadas se ordenan por su eutrofia según estos dos parámetros en la forma: Laguna de Santa Olalla > Laguna de Medina = Caño Travieso = Lucio del Aro.

Analizando los valores de la concentración de clorofila «a» como uno de los mejores criterios para definir el grado de eutrofización de las aguas (Hutchinson, 1973), las cifras registradas para las cuatro estaciones, según los rangos de Margalef y varios (1976) y Margalef (1978), en el ciclo estudiado, manifiestan de nuevo el alto grado de eutrofización de la Laguna de Santa Olalla frente al carácter oligotrófico-mesotrófico del resto de las estaciones. Respecto al índice de estado trófico, según la concentración de clorofila «a», los resultados son similares. Ordenando los cuatro medios, según estos dos criterios, por su grado de eutrofia resultaría: Laguna de Santa Olalla > Caño Travieso > Laguna de Medina > Lucio del Aro.

En la Laguna de Santa Olalla la relación entre los dos índices de estado trófico considerados es muy estrecha. El coeficiente de correlación entre ambos es altamente significativo, $r = + 0,82$ ($P \leq 0,01$).

Analizando el grado de eutrofización por la concentración de fosfatos según los rangos de Nisbet y Verneaux (1970) y Margalef y cols. (1976), la Laguna de Santa Olalla y Caño Travieso aparecen con aguas fuertemente productivas frente al Lucio del Aro y Laguna de Medina con producción media. Ordenando las estaciones según este parámetro, resultaría: Caño Travieso > Laguna de Santa Olalla > Lucio del Aro > Laguna de Medina.

El cambio en el orden de eutrofia de las estaciones respecto los valores de este parámetro, radicaría en sus rangos de variación. Las dos estaciones de marisma presentan durante casi todo su ciclo valores muy bajos en la concentración de fosfatos, ya que se encuentra incorporado en la vegetación acuática de sus fondos y posteriormente en el fitoplancton. La rápida disminución del fitoplancton con el aumento de la salinidad y la intensidad de los procesos de mineralización hacen que su con-

centración aumente considerablemente al final del ciclo, elevándose sensiblemente sus valores medios.

En las figuras 46, 47, 48 y 49 se representa gráficamente de una forma conjunta, a modo de perfil ambiental (Kail y Frey, 1973), los rangos de variación estacionales de los factores medidos en el estudio que pueden tener un valor indicador del grado de eutrofia de las aguas de las estaciones consideradas. Las aguas oligotróficas presentan un perfil estrecho y situado en la parte izquierda de la gráfica y las aguas eutróficas poseerán un perfil amplio, dentado y en la parte izquierda de la gráfica. Las aguas mesotróficas toman características intermedias entre ambos extremos y se sitúan en el centro de la gráfica. Observando las gráficas consideradas, la Laguna de Santa Olalla se presenta como fuertemente eutrófica característica propia de las lagunas costeras, mientras que el resto de las estaciones toman un aspecto de medios mesotróficos.

4. CONCLUSIONES

Se han descrito, haciendo especial énfasis en su variación estacional, 14 parámetros físico-químicos y biológicos estudiados en cuatro cuerpos de agua del Bajo Guadalquivir.

Las conclusiones obtenidas son relativas al ciclo estudiado 1977-78. Sin embargo, los componentes abióticos y bióticos de estos medios están sometidos a importantes variaciones en diferentes años según los distintos balances hidrológicos. De una forma general pueden señalarse los siguientes puntos.

Las temperaturas superficiales de las aguas durante el ciclo estudiado, presentan valores medios elevados. Se detectan tres períodos que corresponden a los meses de: noviembre-febrero, marzo-mayo y junio-octubre, denominados frío, templado y cálido. La disminución de la temperatura en el otoño es gradual, permitiendo un desarrollo otoñal de las taxocenosis.

La transparencia del agua solamente es factor limitante de la producción, para la Laguna de Santa Olalla, en la que se da una estrecha relación con la producción del fitoplancton. En el resto de las estaciones la transparencia es total.

Todos los medios acuáticos estudiados son de escasa profundidad, mostrando fluctuaciones extremas en los medios de marisma (período sin agua de hasta 5 meses) y menores fluctuaciones en las Lagunas de Medina y Santa Olalla (medios de aguas permanentes). La variación estacional de la fluctuación está ligada directamente a las precipitaciones;

LAGUNA DE Sta OLALLA

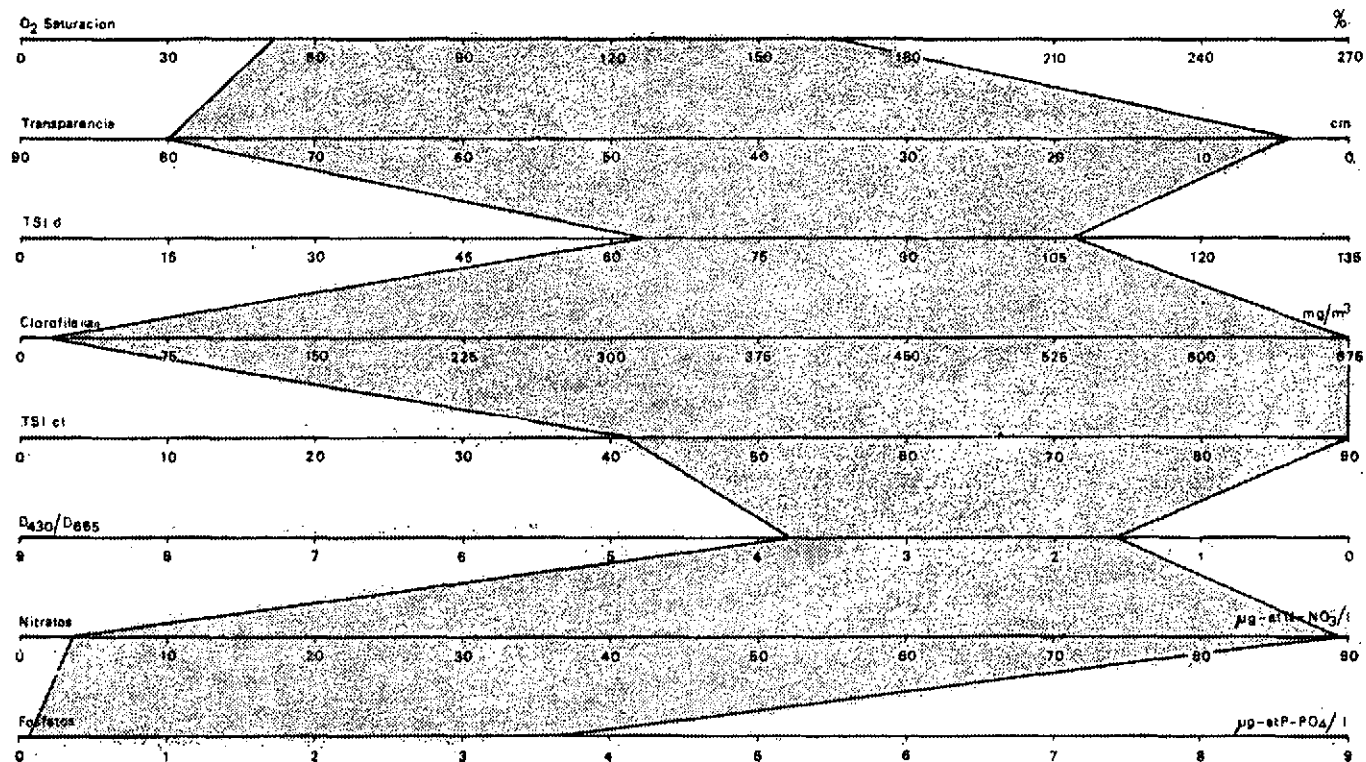


FIGURA 46. Perfil ambiental confeccionados con factores físico-químicos y biológicos con valor indicador del grado de eutrofia para la estación de muestreo de Laguna de Santa Olalla durante el período 1977/78.

LUCIO DEL ARO

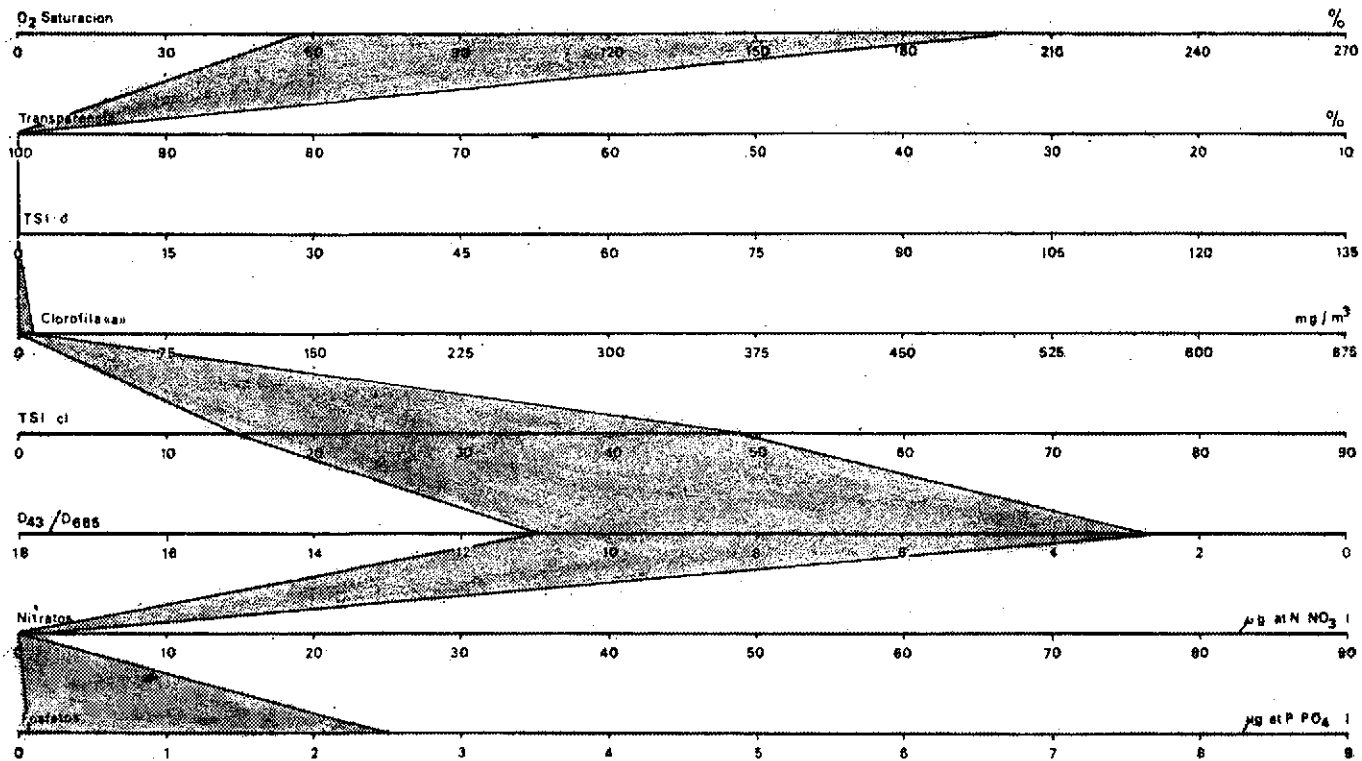


FIGURA 47. Perfil ambiental confeccionados con factores físico-químicos y biológicos con valor indicador del grado de eutrofia para la estación de muestreo del Lucio del Aro durante el periodo 1977/78.

CAÑO TRAVIESO

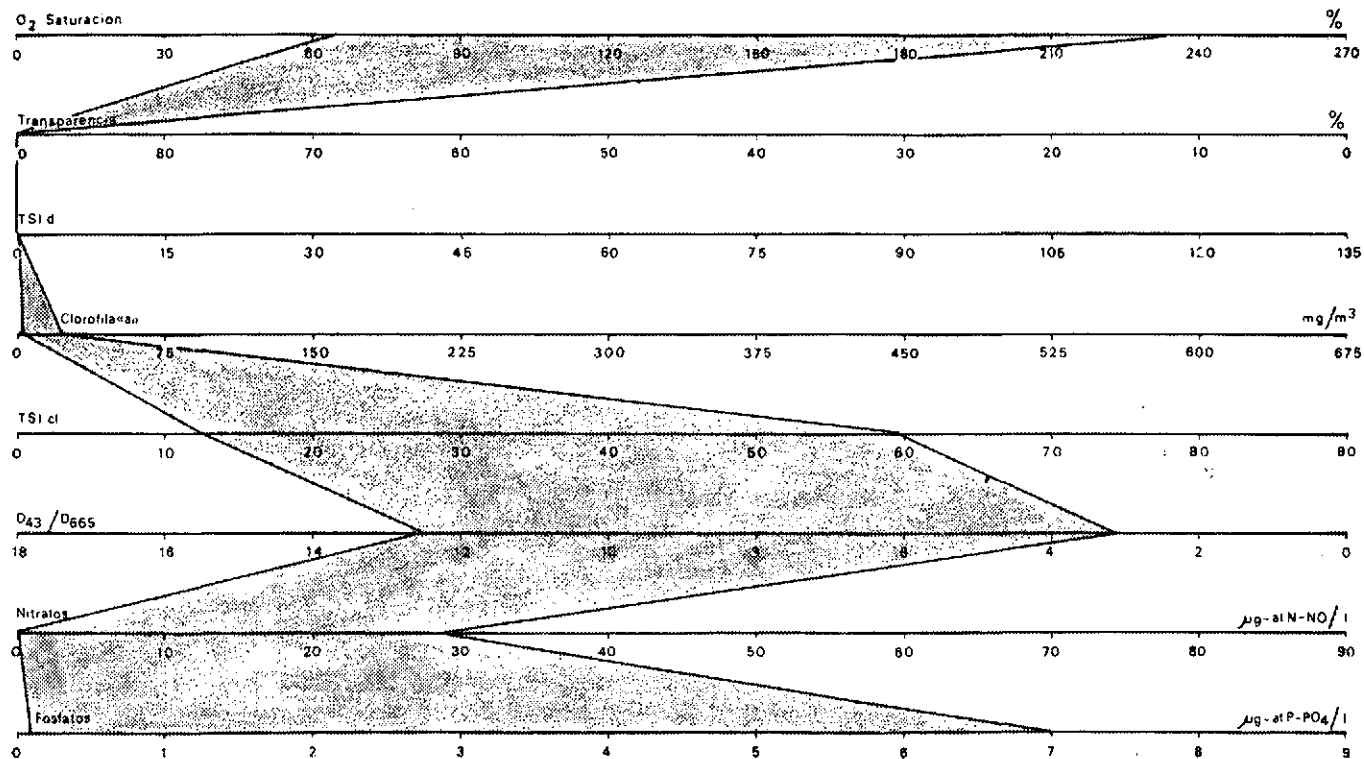


FIGURA 48. Perfil ambiental confeccionados con factores físico-químicos y biológicos con valor indicador del grado de eutrofia para la estación de muestreo del Caño Travieso durante el periodo 1977/78.

LAGUNA DE MEDINA

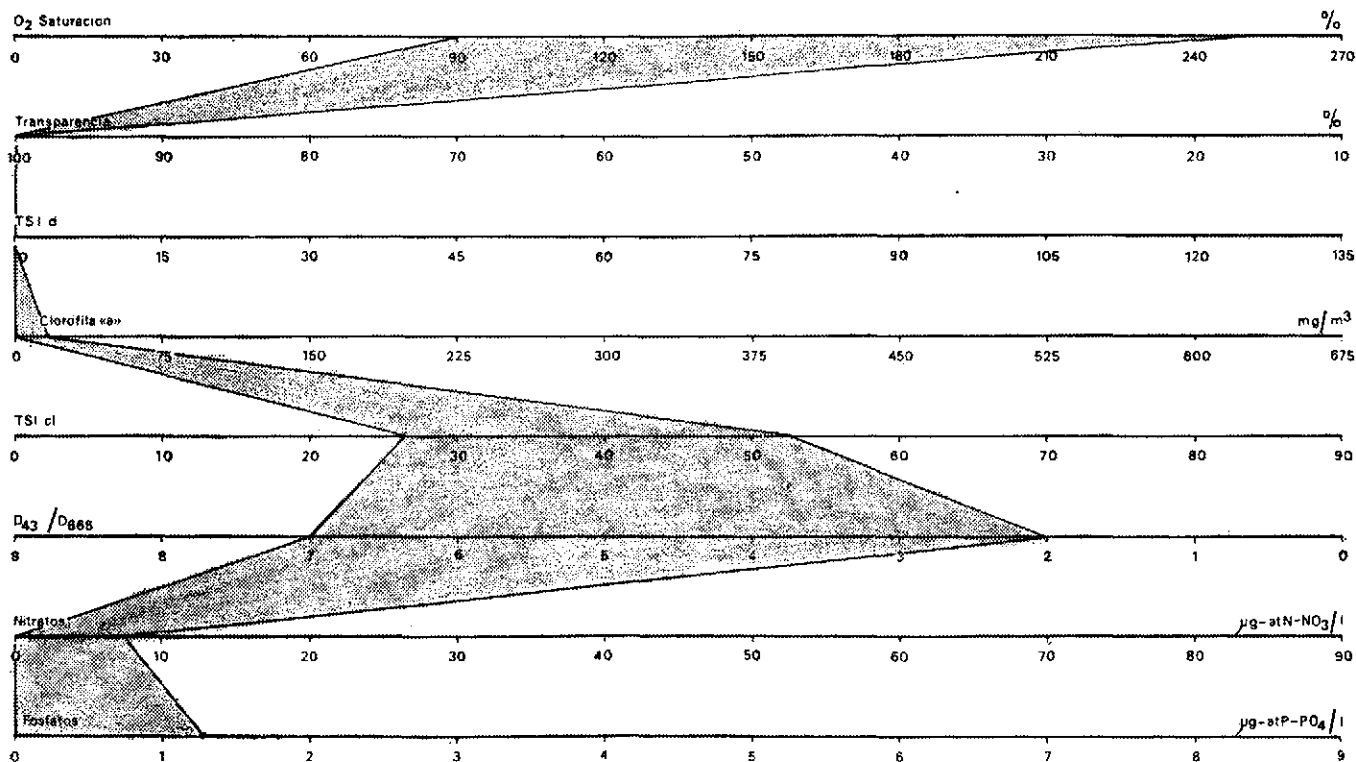


FIGURA 49. Perfil ambiental confeccionados con factores físico-químicos y biológicos con valor indicador del grado de eutrofia para la estación de muestreo de Laguna de Medina durante el periodo 1977/78.

en la Laguna de Santa Olalla tiene especial importancia el aporte freático de los acuíferos dunares.

El anión cloruro supone aproximadamente el 50 % de la salinidad total de la Laguna de Santa Olalla y medios de marisma y un 40 % para la Laguna de Medina. En ésta tienen especial importancia además los sulfatos.

Según la clasificación de Aguesse (1957), las aguas de las estaciones estudiadas se clasifican en:

- Laguna de Medina: salobre mesopoiquilohalina (+) según los sólidos disueltos y salobre mesopoiquilohalina (—) según la clorosidad.
- Laguna de Santa Olalla: oligosalobre-oligopoiquilohalina.
- Caño Travieso y Lucio del Aro: salobre polipoiquilohalina (\pm).

Los valores medios de pH y reserva alcalina son elevados para las cuatro estaciones estudiadas, viéndose afectada la variación estacional de los mismos en la Laguna de Santa Olalla por las pulsaciones del fitoplancton, y en las restantes estaciones por la fenología de la vegetación sumergida y flotante.

Las aguas estudiadas son ricas en oxígeno de una forma general. La variación estacional es más marcada en la Laguna de Santa Olalla por la escasa transparencia de sus aguas y se encuentra controlada por el desarrollo del fitoplancton.

El fósforo y el nitrógeno se encuentran íntimamente asociados a las fases autotróficas y detriticas del fitoplancton en la Laguna de Santa Olalla y de la vegetación acuática en las restantes estaciones.

Los valores de silicatos en la Laguna de Santa Olalla son elevados por el tipo de sustrato, siendo de menor importancia en los restantes medios.

Los valores de clorofila «a» en la Laguna de Santa Olalla son muy elevados presentándose tres picos de desarrollo: plancton de primavera y principios de verano; plancton de invierno y plancton de final de verano y otoño (valores máximos de clorofila). En las estaciones de marisma los valores son mínimos durante el desarrollo de la vegetación acuática, siendo de carácter medio en el período de descomposición y entrada de las aguas.

En cuanto al grado de eutrofización y considerando los distintos índices medidos, la Laguna de Santa Olalla se presenta como fuertemente eutrófica y el resto de las estaciones con un carácter global mesotrófico.

MATRIZ 1

DIECINUEVE FACTORES FISICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS ANALIZADOS DURANTE TRECE MESES EN LA LAGUNA DE SANTA OLALLA EN EL CICLO 1977/78. LA FALTA DE MEDIDA SE EXPRESA CON UN GUIÓN

| Laguna de Santa Olalla | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio |
|--|--------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--------|---------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 1. pH | 9,00 | 9,20 | 9,70 | 8,50 | 7,70 | 7,50 | 7,60 | 7,40 | 7,20 | 7,80 | 8,10 | 7,80 | 7,50 |
| 2. Alcalinidad | 4,29 | 1,84 | 1,51 | 1,58 | 4,01 | 2,70 | 4,15 | 4,47 | 4,41 | 4,01 | 5,33 | 3,55 | 4,34 |
| 3. Cloruros | 0,58 | 1,30 | 1,46 | 0,80 | 1,09 | 0,49 | 0,91 | 0,70 | 1,04 | 0,82 | 0,96 | 1,10 | 1,72 |
| 4. Sólidos disueltos | 0,96 | 2,64 | 2,54 | 2,12 | 2,55 | 0,68 | 1,90 | 1,31 | 1,70 | 1,59 | 2,22 | 2,41 | 2,83 |
| 5. Oxígeno | 9,92 | 12,16 | 13,44 | 12,32 | 8,00 | 7,52 | 7,00 | 5,28 | 6,12 | 7,22 | 10,72 | 11,20 | 9,22 |
| 6. O ₂ saturación % | 120,00 | 150,00 | 165,00 | 145,00 | 74,00 | 81,00 | 73,00 | 51,00 | 63,00 | 85,00 | 122,00 | 140,00 | 120,00 |
| 7. Nitratos | 41,32 | 6,56 | 3,44 | 5,16 | 54,12 | 93,32 | 83,42 | 66,44 | 50,78 | 18,14 | 42,80 | 13,30 | 40,39 |
| 8. Nitritos | 0,06 | 2,08 | 1,92 | 2,33 | 2,25 | 0,70 | 0,23 | 2,35 | 2,45 | 0,25 | 1,00 | 0,38 | 1,73 |
| 9. Fosfatos | 1,27 | 0,12 | 0,06 | 0,07 | 0,96 | 1,35 | 2,07 | 3,71 | 2,06 | 2,05 | 1,60 | 1,53 | 0,72 |
| 10. Silicatos | 100,00 | 21,14 | 67,54 | 244,74 | 238,66 | 231,48 | 273,12 | 333,35 | 103,65 | 81,94 | 245,83 | 125,46 | 259,26 |
| 11. Transparencia | 25,00 | 6,00 | 5,00 | 6,00 | 4,00 | 8,00 | 80,00 | 50,00 | 53,00 | 27,00 | 15,00 | 18,00 | 18,00 |
| 12. Temperatura aire | 32,00 | 23,00 | 27,00 | 23,00 | 10,00 | 19,50 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 23,00 | 28,00 | 35,00 | 33,00 |
| 13. Temperatura agua | 28,00 | 28,00 | 25,00 | 25,00 | 10,00 | 18,00 | 19,00 | 19,00 | 18,50 | 29,00 | 28,00 | 30,00 | 32,00 |
| 14. Temperatura máxima | 34,00 | 35,00 | 34,00 | 38,00 | 25,00 | 11,00 | 18,00 | — | — | — | — | — | 39,00 |
| 15. Temperatura mínima | 11,00 | 11,00 | 11,00 | 14,00 | 8,00 | 8,00 | 10,00 | 7,00 | — | — | — | — | — |
| 16. Nivel del agua | 9,30 | 3,40 | 0,00 | 2,10 | 4,70 | 8,30 | 11,50 | 23,20 | 22,10 | 20,20 | 11,00 | 7,70 | 6,50 |
| 17. Profundidad | 28,50 | 20,30 | 16,30 | 18,30 | 19,00 | 30,00 | 38,50 | 40,00 | 37,00 | 35,00 | 30,00 | 22,00 | 19,00 |
| 18. D ₄₃₀ /D ₆₈₅ | 2,81 | 2,13 | 1,89 | 1,99 | 2,13 | 1,94 | 3,78 | 3,29 | 3,30 | 2,33 | 1,94 | 3,38 | 2,67 |
| 19. Clorofila «a» | 90,29 | 576,57 | 677,63 | 667,20 | 91,22 | 92,73 | 3,87 | 3,38 | 25,02 | 96,92 | 243,25 | 142,04 | 132,05 |

MATRIZ 2

DIECINUEVE FACTORES FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS POR 10 MUESTRAS RECOGIDAS EN EL LUCIO DEL ARO DURANTE LOS AÑOS 1977 Y 1978. LA FALTA DE MEDIDA SE EXPRESA CON UN GUIÓN

| <i>Lucio del Aro</i> | <i>Mayo</i> | <i>Diciembre</i> | <i>Enero</i> | <i>Febrero</i> | <i>Marzo</i> | <i>Abril</i> | <i>Mayo</i> | <i>Junio</i> | <i>Julio</i> | <i>Julio</i> |
|---|-------------|------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. pH | 9,00 | 8,20 | 8,00 | 8,90 | 9,40 | 9,70 | 9,30 | 8,70 | 7,90 | 6,90 |
| 2. Alcalinidad | 1,25 | 2,70 | 3,92 | 3,16 | 2,57 | 2,66 | 3,09 | 5,46 | 9,02 | 17,37 |
| 3. Cloruros | 8,62 | 0,83 | 0,75 | 3,44 | 3,30 | 2,84 | 6,76 | 12,16 | 25,80 | 117,00 |
| 4. Sólidos disueltos | 20,42 | 2,04 | 1,96 | 5,00 | 4,70 | 5,96 | 11,01 | 24,07 | 56,49 | 208,06 |
| 5. Oxígeno | 18,88 | 6,56 | 10,19 | 14,40 | 15,00 | 17,80 | 13,72 | 11,04 | 9,36 | 5,20 |
| 6. Oxígeno saturación | 270,00 | 57,00 | 82,00 | 170,00 | 175,00 | 198,00 | 189,00 | 170,00 | 180,00 | 300,00 |
| 7. Nitratos | Inap. | Inap. | 1,99 | 1,43 | Inap. | Inap. | Inap. | Inap. | Inap. | 1,21 |
| 8. Nitritos | 0,04 | 0,18 | 0,38 | 0,72 | 4,04 | 0,02 | 0,08 | 0,02 | 0,11 | 0,21 |
| 9. Fosfatos | 1,14 | 0,72 | 1,61 | 0,22 | 0,17 | 0,06 | 0,12 | 1,86 | 2,51 | 0,72 |
| 10. Silicatos | 8,59 | 35,29 | 20,31 | 10,65 | 4,91 | 3,43 | 2,22 | 31,94 | 7,87 | 59,85 |
| 11. Transparencia cm | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 12. Temperatura aire °C | 27,00 | 9,00 | 6,00 | 24,00 | 18,00 | 14,00 | 33,00 | 30,50 | 31,00 | 39,00 |
| 13. Temperatura agua °C | 29,00 | 8,00 | 4,00 | 23,00 | 19,00 | 19,00 | 30,00 | 32,00 | 33,00 | 38,00 |
| 14. Temperatura máxima °C | 32,00 | — | — | 22,00 | — | — | — | — | — | — |
| 15. Temperatura mínima °C | 18,00 | — | — | 5,00 | — | — | — | — | — | — |
| 16. Nivel del agua m | 201,00 | 241,00 | 296,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 298,70 | 192,00 | 135,00 | 0,00 |
| 17. Profundidad cm | 14,00 | 28,00 | 35,00 | 40,00 | 38,00 | 39,00 | 30,00 | 15,00 | 9,00 | 2,00 |
| 18. D ₄₉₀ /D ₆₆₅ | 5,17 | 2,87 | 3,72 | 11,00 | 4,33 | 4,20 | 4,24 | 3,65 | 5,29 | 5,16 |
| 19. Clorofila «a» mg/m ³ | 14,07 | 1,63 | 1,00 | 0,16 | 0,83 | 0,70 | 3,53 | 6,99 | 1,21 | 15,74 |



MATRIZ 3

DIECINUEVE FACTORES FISICO-QUIMICOS Y BIOLÓGICOS ANALIZADOS DURANTE OCHO MESES
EN EL CAÑO TRAVIESO EN EL CICLO 1977/78

| <i>Caño Travieso</i> | <i>Diciembre</i> | <i>Enero</i> | <i>Febrero</i> | <i>Marzo</i> | <i>Abril</i> | <i>Mayo</i> | <i>Junio</i> | <i>Julio</i> |
|---|------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| 1. pH | 7,80 | 7,50 | 8,60 | 8,30 | 9,20 | 8,90 | 7,80 | 7,10 |
| 2. Alcalinidad | 2,11 | 5,00 | 4,47 | 4,80 | 3,88 | 9,87 | 11,34 | 19,48 |
| 3. Cloruros | 1,70 | 1,56 | 2,04 | 2,20 | 2,84 | 5,00 | 10,18 | 19,56 |
| 4. Sólidos disueltos | 4,49 | 3,28 | 3,83 | 4,65 | 5,82 | 8,78 | 21,38 | 38,22 |
| 5. Oxígeno | 10,56 | 9,12 | 8,16 | 12,32 | 14,22 | 16,98 | 11,00 | 8,32 |
| 6. Oxígeno saturación | 113,00 | 69,00 | 86,00 | 116,00 | 160,00 | 230,00 | 170,00 | 145,00 |
| 7. Nitratos | 15,29 | 20,00 | 28,88 | Inap. | 0,20 | Inap. | Inap. | 0,73 |
| 8. Nitritos | 0,03 | 0,06 | 1,45 | 0,05 | 0,01 | 0,05 | 0,02 | 0,07 |
| 9. Fosfatos | 0,48 | 1,69 | 0,86 | 0,44 | 0,14 | 2,40 | 4,01 | 7,06 |
| 10. Silicatos | 78,99 | 21,05 | 15,74 | 6,94 | 4,63 | 17,13 | 22,33 | 37,50 |
| 11. Transparencia | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 12. Temperatura aire | 17,00 | 6,00 | 20,00 | 18,00 | 19,00 | 31,00 | 32,00 | 38,00 |
| 13. Temperatura agua | 18,00 | 2,00 | 19,00 | 12,00 | 20,00 | 28,00 | 32,00 | 33,00 |
| 14. Temperatura máxima | 19,00 | 11,00 | 22,00 | 20,00 | 29,00 | 31,00 | 34,00 | 39,00 |
| 15. Temperatura mínima | 8,00 | 3,00 | 5,00 | 10,00 | 13,00 | 14,00 | 17,00 | 19,00 |
| 16. Nivel del agua | 135,00 | 180,00 | 189,00 | 180,00 | 180,60 | 156,00 | 80,00 | 0,00 |
| 17. Profundidad | 12,90 | 33,50 | 41,11 | 37,38 | 45,00 | 21,83 | 10,00 | 7,50 |
| 18. D ₄₉₀ /D ₆₆₅ | 2,89 | 4,71 | 12,50 | 3,68 | 3,40 | 3,12 | 3,21 | 3,60 |
| 19. Clorofila «a» | 7,96 | 1,47 | 0,16 | 1,53 | 5,50 | 18,20 | 19,83 | 4,24 |

MATRIZ 4

DIECINUEVE FACTORES FISICO-QUIMICOS Y BIOLÓGICOS ANALIZADOS DURANTE QUINCE MESES EN LA LAGUNA DE MEDINA EN LOS AÑOS 1977 Y 1978

| Laguna de Medina | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto |
|--|--------|--------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1. pH | 9,50 | 8,60 | 8,40 | 8,00 | 8,00 | 8,10 | 7,80 | 8,00 | 8,70 | 8,90 | 9,60 | 8,90 | 8,60 | 8,10 | 7,80 |
| 2. Alcalinidad | 0,79 | 1,38 | 1,78 | 1,45 | 2,04 | 2,30 | 3,40 | 3,42 | 1,12 | 0,79 | 0,99 | 1,25 | 1,32 | 1,58 | 3,03 |
| 3. Cloruros | 1,27 | 2,14 | 2,77 | 3,39 | 3,50 | 3,94 | 2,15 | 2,90 | 2,16 | 2,28 | 3,31 | 4,65 | 4,04 | 4,72 | 5,03 |
| 4. Sólidos disueltos | 2,79 | 7,08 | 11,39 | 12,73 | 15,29 | 16,70 | 9,43 | 11,98 | 8,44 | 8,10 | 15,13 | 11,42 | 14,85 | 18,17 | 20,21 |
| 5. Oxígeno | 12,48 | 19,56 | 7,04 | 13,44 | 7,52 | 8,16 | 10,08 | 13,28 | 12,00 | 10,72 | 11,68 | 12,00 | 12,48 | 10,00 | 9,14 |
| 6. Oxígeno saturación | 159,00 | 250,00 | 90,00 | 165,00 | 90,00 | 93,00 | 101,00 | 129,00 | 125,00 | 114,00 | 125,00 | 155,00 | 170,00 | 130,00 | 120,00 |
| 7. Nitratos | Inap. | 0,18 | 3,03 | 0,47 | 3,46 | 5,65 | 7,69 | 0,24 | Inap. | Inap. | Inap. | Inap. | Inap. | 3,27 | 4,13 |
| 8. Nitritos | Inap. | 0,24 | 0,92 | 0,50 | 0,94 | 0,17 | 0,93 | 0,18 | 0,11 | 0,01 | Inap. | 0,01 | Inap. | 0,05 | 0,13 |
| 9. Fosfatos | Inap. | 0,13 | 0,30 | 0,13 | 0,02 | 0,08 | 0,98 | 0,90 | 0,76 | 0,06 | 0,30 | 0,20 | 1,37 | 0,60 | 1,00 |
| 10. Silicatos | 7,41 | 7,89 | 14,83 | 58,77 | 57,90 | 22,69 | 23,39 | 22,56 | 16,20 | 3,70 | 3,24 | 1,85 | 10,65 | 9,13 | 8,76 |
| 11. Transparencia | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 12. Temperatura aire | 24,00 | 31,00 | 26,00 | 28,00 | 24,00 | 18,00 | 18,00 | 16,00 | 19,00 | 20,50 | 25,00 | 28,00 | 31,00 | 30,00 | 29,00 |
| 13. Temperatura agua | 29,00 | 28,00 | 26,00 | 27,00 | 21,00 | 19,00 | 16,00 | 14,00 | 18,00 | 17,00 | 20,00 | 28,00 | 30,00 | 28,50 | 28,00 |
| 14. Temperatura máxima | 28,00 | 34,00 | 32,00 | 28,00 | 30,00 | 24,00 | 21,00 | 18,00 | 19,00 | 22,00 | 24,00 | 25,00 | 34,00 | 37,00 | 39,00 |
| 15. Temperatura mínima | 13,00 | 15,00 | 11,00 | 18,00 | 16,00 | 8,00 | 7,00 | 7,00 | 11,00 | 12,00 | 14,00 | 17,00 | 19,00 | 18,00 | 20,00 |
| 16. Nivel del agua | 13,70 | 12,40 | 9,20 | 5,00 | 5,60 | 3,70 | 9,80 | 6,15 | 14,60 | 14,60 | 15,40 | 13,30 | 9,50 | 6,10 | 0,00 |
| 17. Profundidad | 30,50 | 28,00 | 20,00 | 15,50 | 17,00 | 13,00 | 21,00 | 19,00 | 35,50 | 36,00 | 40,00 | 30,00 | 21,50 | 18,50 | 7,80 |
| 18. D ₄₃₀ /D ₆₈₅ | 2,06 | 2,73 | 5,07 | 3,20 | 2,75 | 4,43 | 2,36 | 4,00 | 3,46 | 7,00 | 6,00 | 3,85 | 5,11 | 4,89 | 7,00 |
| 19. Clorofila «a» | 2,49 | 18,31 | 5,66 | 6,38 | 9,36 | 2,41 | 5,73 | 0,93 | 2,28 | 0,70 | 1,11 | 2,39 | 3,40 | 3,59 | 0,81 |



BIBLIOGRAFIA

- AGUESSE, P. (1957), «La classification des eaux poikilohalines, sa difficulté en Camargue, nouvelle tentative de classification», *Vie Milieu*, 8 (4): 341-365.
- AGUESSE, P. (1958), «Aperçu du régime hydraulique de la Camargue et de son influence sur les déplacements du sel», *Comptes rendus du Congrès des Sociétés Savantes* (Colloque sur la Camargue), 487-493.
- AGUESSE, P. (1961), *Contribution à l'étude écologique des zygopteros de Camargue*, These, Paris, 156 págs.
- AGUESSE, P.; MARAZANOF, F. (1965), «Les modifications des milieux aquatiques de Camargue au cours des 30 dernières années», *Ann. Limnol.*, 1 (2): 163-190.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1976), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Amer. Public Health Assoc., New York (14 th ed), 874 págs.
- ANCONA, U. D. (1959), «The classification of brackish waters with reference to the north adriatic lagoons», *Arch. Oceanogr. Limnol.*, 11: 93-110.
- ANÓNIMO (1958), «The Venice System for the classification of marine waters according to salinity», *Oikos*, 9: 311-312.
- ANTIA, N. J.; MCALLISTER, C. D.; PARSON, T. R.; STEPHENS, K.; STRICKLAND, J. D. H. (1963), «Further measurements of primary production using a large Volume plastic sphere», *Limnol. Oceanogr.*, 8: 166-183.
- BALLESTER, A. (1973), «Regularidad y heterogeneidad en los pigmentos fotosintetizadores», *In. Pesq.*, 37 (2): 245-294.
- BAYLY, I. A. E. (1967), «The general biological classification of aquatic environments with special reference to those in Australia». En WEATHERLEY, A. H. (Ed.), *Australian Inland waters and their fauna*, Camberra A.N.O. Press, 281 págs.
- BIGOT, L.; MARAZANOF, F. (1965), «Considerations sur l'écologie des invertébrés terrestres et aquatiques des Marismas du Guadalquivir (Andalucía)», *Vie Milieu*, 16 (1): 441-473.
- BIGOT, L.; MARAZANOF, F. (1966), «Notes sur l'écologie des Coleopteres aquatiques des Marismas du Guadalquivir et premier inventaire des Coleopteres et Lepidopteres du Coto de Doñana (Andalucía)», *Annl. Limnol.*, 2 (3): 491-502.
- BRUNELLI, G. (1933), «La bonifica idrobiologica e le ricerche sulle acque salmestree», *Verh. int. Ver. Limnol.*, 6: 151-153.
- BUCH, K. (1930), «Die Kohl en saurefaktoren des Meerwassers. I», *Rapp. Cons. Explor. Mer.*, 67: 5-88.
- CARPENTER, J. H. (1965), «The accuracy of the winkler method for dissolved oxygen analysis», *Limnol. Oceanogr.*, 10: 135-140.
- CATALÁN LAFUENTE, J. G. (1969), *Química del agua*, Blume, Madrid, 355 págs.
- CHAMPEAU, A. (1966), «Contribution à l'étude écologique de la faune des eaux temporaires de la haute Camargue», *Arch. Oceanogr. Limnol.*, 14 (3): 309-357.
- COMIN, F.; FERRER, X. (1979), «Les llacunes litorals», *Quad. Ecol. Apl.*, 4: 51-68.
- DAFAUCE, C. (1975), *La albufera de Valencia: Un estudio piloto*, I.C.O.N.A. Monografía núm. 4, Madrid, 127 págs.

- DAHL, E. (1956), «Ecological salinity boundaries in poikilohaline waters», *Oikos*, 7: 1-21.
- DUSSART, B. (1966), *Limnologie: l'Etude des Eaux Continentales*, Gauthier-Villars, Paris, 677 págs.
- GIBBS, R. J. (1970), «Mechanisms controlling world water chemistry», *Science*, 170: 71-73.
- GOLTERMANN, H. L. (1975), *Physiological Limnology*, Elsevier, Amsterdam, Oxford & New York, 453 págs.
- GOLTERMANN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, MAN. (1978), *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. IBP Handbook No. 2nd ed. Oxford, Blackwell, 214 págs.
- GRANDE COVIÁN, R. (1978), *El estuario del Guadalquivir y su problema agrosocial*, IRYDA, núm. 8, Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario, 44 págs.
- HAYES, F. R.; PHILLIPS, J. E. (1958), «Lake water and Sediment. IV. Radiophosphorus equilibrium with mud plants and bacteria under oxidized and reduced conditions», *Limnol. Oceanogr.*, 3: 459-457.
- HEDGPETH, J. W. (1951), «The classification of estuarine and brackish water and the hydrographic climate», *Rep. Comm. Treat. Ecol. Paleocol.*, 11: 49-54.
- HEJNY, S. (1971), «The dynamic characteristics of littoral vegetation with respect to changes of water level», *Hydrobiologia*, 12: 71-85.
- HERNANDO, J. A. (1978), *Estructura de la comunidad de peces de la marisma del Guadalquivir*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, 383 págs.
- HERON, J. (1961), «The seasonal variation of the phosphate, silicate and nitrate in waters of English Lake District», *Limnol. Oceanogr.*, 6: 338-346.
- HOLDEN, A. V. (1959), «Fertilization experiments in Scottish freshwaters loch. II. Southerland. 1954. Part. I. Chemical and botanical observations», *Sci. Invest. Freshwat. Fish. Scot.*, 24 págs.
- HUTCHINSON, G. E. (1957), *A treatise on Limnology*, vol. 1, Geography, Physics and Chemistry, John Wiley, New York, 1,015 págs.
- HUTCHINSON, G. E. (1973), «Eutrophication», *American Scientist*, vol. 61: 269-79.
- KAILL, W. M.; FREY, J. K. (1973), *Environments in profile. An aquatic perspective*, Confined Press, San Francisco, 206 págs.
- KALFF, J.; KNOEHEL, R. (1978), «Phytoplankton and their dynamics in oligotrophic and eutrophic lakes», *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 9: 475-495.
- KIENER, A. (1978), *Ecologie, Physiologie et économie des eaux saumâtres*. Collection de Biologie des Milieux Marins. 1. Masson, Paris, 220 págs.
- LINGEMAN, R.; FLIK, B. J.; RINGELEBERG, J. (1975), «Diel and annual oxygen regimes in a small lake», *Hydrobiological Bulletin*, 9 (1): 35-44.
- MAB. (1974), «International working group on Project 5; Ecological effects of human activities on the value and resources of lakes, marshes, rivers, deltas, estuaries and coastal zones». MAB. report series No. 21, Unesco, 80 págs.
- MAITLAND, P. S. (1978), *Biology of fresh waters*, Blackie, Glasgow, London, 244 págs.
- MARAZANOF, F. (1966), «Mollusques aquatiques des Marismas du Guadalquivir: Données écologiques et biogéographiques», *Annls. Limnol.*, 2 (3): 477-489.
- MARAZANOF, F. (1967), «Ostracodes, Cladoceres, Heteropteres et Hydracariens nouveaux pour les Marismas du Guadalquivir (Andalousie): Données écologiques», *Annls. Limnol.*, 3 (1): 47-64.
- MARAZANOF, F. (1969), «Contribution a l'étude écologique des mollusques des eaux douces et saumâtres de Camargue I. Milieux Especies», *Annls. Limnol.*, 5: 201-323.
- MARS, P. (1966), «Recherches sur quelques étangs du littoral méditerranéen français et sur leurs faunes malacologiques», *Vie Milieu*, suppl. 20: 359 págs.
- MARTIN, N. A. (1972), «Temperature fluctuations within English lowland ponds», *Hydrobiologia*, 40: 455-469.
- MARGALEF, R. (1951), «Regiones limnológicas de Cataluña y ensayo de sistematización de las asociaciones de algas», *Collectanea Botanica*, vol. III, 1 (2): 43-65.
- MARGALEF, R. (1950), «La vida en las aguas saladas no marinas», *Ibérica*, 2.ª época, 135: 1-8.
- MARGALEF, R. (1951), «Materiales para la Hidrobiología de la isla de Ibiza», *P. Ins. Biol. Apl.*, 8: 5-70.
- MARGALEF, R. (1955), *Los organismos indicadores en la Limnología*, Ministerio de

- Agricultura, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid, 300 páginas.
- MARGALEF, R. (1960), «Valeur indicatrice de la composition des pigments du phytoplancton sur la productivité composition taxonomique et propriétés dynamiques des populations», *Raff. Proc. Verb. C.I.E.S.M.M.*, 15 (2): 277-281.
- MARGALEF, R. (1968), *Perspectives in ecological theory*, Univ. Chicago Press, Chicago.
- MARGALEF, R. (1972), «Luz y temperatura». En J. CASTELVI y varios, *Ecología marina*, 100-129, Fundación La Salle, Edit. Dossat, 711 págs.
- MARGALEF, R. (1974), *Ecología*, Omega, Barcelona, 951 págs.
- MARGALEF, R. (1976), «Algas de agua dulce de Doñana», *Oecologia aquatica*, 2: 79-91.
- MARGALEF, R. (1978), «Limnología para pascólogos», *Pastos*, 1: 10-20.
- MARGALEF, R., y varios (1976), *Limnología de los embalses españoles*, Dirección General de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas, Madrid, 422 págs.
- MONTETH, J. L. (1973), *Principles of Environmental Physics*, Arnold, London, 241 páginas.
- MONTES, C. (1980), *Las taxocenosis de Odonatos, Heterópteros acuáticos y Coleópteros acuáticos en el área del Bajo Guadalquivir: Estructura y variación estacional de sus poblaciones y ambiente físico-químico*. Tesis Doctoral, Universidad de Murcia, 340 págs.
- MORTIMER, C. H. (1953), «A review of temperature measurement in Limnology», *Mitt. int. Ver. Limnol.*, Commun. No. 1, 25 págs.
- MORTIMER, C. H. (1971), «Chemical exchanges between sediments and water in the Great lakes. Speculations on probably regulatory mechanisms», *Limnol. Ocean.*, 16: 387-404.
- MULLIN, J. B.; RILEY, J. P. (1955), «The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters», *Analytica chim. Acta*, 12: 162-176.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. (1962), «A modified single-solution method for determination of phosphate in natural waters», *Analytica chim. Acta*, 27: 31-36.
- NICOL, E. A. T. (1936), «The ecology of a salt marsh», *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 20: 203-261.
- NIETO GARCÍA, M. (1970), *Los pigmentos como indicadores ecológicos en las aguas corrientes del centro de España*, Centro de Estudio, Investigación y Aplicaciones del Agua, Barcelona, 218 págs.
- NISBET, M.; PETIT, G.; SCHACHTER, D. (1958), «Caracteres chimiques de quelques étangs méditerranéens. Considerations sur la classification des eaux saumâtres (note préliminaire)», *Verh. int. Ver. Limnol.*, 13: 672-675.
- NISBET, M.; VERNEAUX, J. (1970), «Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques», *Ann. Limnol.*, 6 (2): 161-190.
- OTTO, L. (1966), «Light attenuation in the North Sea and the Dutch Wadden Sea in relation to secchi disc. visibility and suspended matter», *Netherl. J. Sea Res.*, 3: 25-31.
- OTSUKI, A.; WETZEL, R. G. (1972), «Coprecipitation of phosphate with carbonates in a marl lake», *Limnol. Oceanogr.*, 17: 763-767.
- PERKINS, E. J. (1974), *The biology of Estuaries and coastal waters*, Academic Press, London, New York, 678 págs.
- PETIT, G. (1954), «Introduction à l'étude écologique des étangs méditerranéens», *Vie et Milieu*, 4 (4): 569-604.
- PETIT, G.; SCHACHTER, D. (1951), «Le problème des eaux saumâtres», *Ann. Biol.*, 27: 301-311.
- PLANAS, M. D. (1973), «Composición, ciclo y productividad del fitoplancton del lago de Banyoles», *Oecologia aquatica*, 1: 3-106.
- POR, F. D. (1972), «Hydrobiological notes on the high-salinity waters of the Sinai peninsula», *Marine Biol.*, 14 (2): 111-119.
- RAWSON, D. S. (1960), «A limnological comparison of twelve large lakes in northern Saskatchewan», *Limnol. Oceanogr.*, 5: 195-211.
- REDEKE, H. C. (1922), «Zur biologie der Niederländischen Brackwassertypen (Ein Beitrag Zur regional Limnologie)», *Bydr. Biol. Physiol. Lab. Univ. Amst.*, 22: 329-335.



- REDEKE, H. C. (1933), «Über den jetzigen stand unserer kenntnisse der Flora und Fauna des Brackwassers», *Verhandl. Intern. Ver. Angecu. Limnol.*, 6: 46-61.
- REISEN, W. K. (1973), «Invertebrate and chemical serial progression in temporary pool communities at turners falls, Murray Country, Oklahome», *J. Kansas Entomol. Soc.*, 46 (3): 294-301.
- REMANE, A. (1959), «Regionale veeschiedenheiten der lebewesen gegenüber dun Salzgehalt und ihue Bedeutunas fur die Brackwasser-Einteilung», *Arch. Oceanogr. Limnol.*, 11: 35-46.
- REMANE, A.; SCHLICPER, C. (1958), Die Biologie des Brackwassers. Die Binnengewässer, 22, Stuttgart, 348 págs.
- SÁEZ-ROYUELA, R. (1997), «Contribución al estudio ecológico de las tablas de Dainiel III. Las Aguas (1974-1975)», *An. INIA (Ser. Recursos Naturales)*, 3: 101-149.
- SACCHI, C. F. (1967), «Rythmes des facteurs physico-quimiques du milieu saumatre et leur emploi comme indice de production». En LAMOTTE, B., & BOURLIERE, F., *Problemes de Productivite Biologique*, 131-158, Masson et Cie, Paris.
- SCHACHTER, D. (1950), «Contribution à l'étude ecologique de la Camargue», *Ann. Inst. Oceano. Monaco*, 25: 1-108.
- SCLIENZ, W. (1923), «Verbreitung und Verbreitungsbedingunm der höheren Krebse im Mundungsgebiet der Elbe», *Arch. Hydrobiol.*, 14 (3): 429-452.
- SEGERSTRALE, S. G. (1959), «Brackishwater classification, a historical survey (Symposium sur la classification des eaux saumatres. Venisse-Avril, 1958)», *Arch. Ocean. Limnol.*, 11 (suppl.): 7-33.
- SHAPIRO, J.; LUNDQUIST, J. B.; CARLSON, R. E. (1975), «Involving the public in Limnology. An approach to Communication», *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19 (2): 867-874.
- SMID, P.; PRIBAN, K. (1978), «Microclimate in Fishpond Littoral Ecosystems». En DYKYJOVA, D., & KVET, J. (Edit.), «Pond Littoral Ecosystems: Structure and Functioning», *Ecological studies*, 28: 104-112, Springer-Verlag Berlin, New York, 464 páginas.
- SOLER, A. (1972), *Los Coleópteros acuáticos de la Marisma del Bajo Guadalquivir*. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 523 págs.
- STRICKLAND, J. D. H.; PARSON, T. R. (1968), «A practical handbook of seawater Analysis», *Bull. Fish. Res. Canada* (167), 311 págs.
- TATING, J. F.; DRIVER, D. (1963), «Some problems in the estimation of chlorophylla: in phytoplankton», *Proc. Conference of Primary Productivity Measurement, Marine and Freshwater*, Hawaii, 1961, U.S. Atomic, Energy Comm. TID-7633, 142-146.
- TALLING, J. F. (1966), «The annual cycle of stratification and phytoplakton growth in lake Victoria (East Africa)», *Int. Rev. ges. Hydrob.*, 51: 545-621.
- TOURENO, J. N. (1975), *Recherches ecologiques sur les chirononides de Camargue*. These Doct. Sci. Nat., Toulouse, 424 págs.
- ULEHLOVA, B.; PRIBIL, S. (1978), «Water Chemistry in the Fishpond Litoral». En DYKYJOVA, D., & KVET, J. (Edit.), *Pond Littoral Ecosystems: Structure and Functioning*, 126-140, Ecological Studies, vol. 28, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 464 págs.
- VALIKANGAS, I. (1933), «Über die Biologie der Ostsee als Brackwassergebiet», *Verh. int. Ver. Limnol.*, 6 (1): 62-112.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1974), «Photosyntetic pigments». En VOLLENWEIDER, R. A. (Edit.), *A manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments*, IBP Handbook N. 12, Blackwell Scientific Publications, Oxford, London.
- WETZEL, R. G. (1966), «Productivity and nutrient relationships in marl lakes of norther Indan», *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 16: 321-332.
- WETZEL, R. G. (1975), *Limnology*, W. B. Saunders Company, Philadelphia, London, Toronto, 743 págs.
- WINNER, R. W. (1969), «Seasonal changes in biotic diversity and in Margalef's pigment ratio in a small pond», *Verh. internat. Verein. Limnol.*, 17: 503-510.
- WINNER, R. W. (1972), «An Evaluation of certain indices of eutrophy and maturity in lakes», *Hydrobiologia*, 40 (2): 23-245.
- YENTSCH, C. S.-SCARCEL (1968), «Diurnal study of phytoplakton pigments an "in situ" study in East Sound. Washington», *J. of Mar. Res.*, 17: 567-584.

AGRADECIMIENTOS

Julia Toja colaboró en la realización de los análisis químicos y biológicos, así como en la aclaración de determinados problemas en la interpretación de los resultados. Ana Furest ayudó a efectuar series de análisis. La Estación Biológica de Doñana y los Departamentos de Zoología de las Universidades de Murcia y Sevilla proporcionaron los medios materiales para la investigación. Uno de los autores (J. A. A.) fue subvencionado con una beca del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C. S. I. C.).