

E S T U D I O S

CICLO ANUAL DE LA PRODUCCION PRIMARIA EN LA LAGUNA (SARIÑENA, HUESCA)

POR M.^a Ángeles SANZ SANZ
Encarnación LALAGUNA SANAGUSTÍN

I. INTRODUCCIÓN.

Este estudio contribuye a la obtención de datos acerca de la limnología de La Laguna (Sariñena, Huesca), dentro de los trabajos de seguimiento llevados a cabo por el Instituto Pirenaico de Ecología (C.S.I.C.), en los últimos años, ya que, hasta el momento, sólo se habían realizado estimas puntuales en este sentido.

La descripción de la cuenca de La Laguna, su clima y otras características biológicas se describen en la monografía publicada por el Instituto de Estudios Altoaragoneses (PEDROCCHI, C. y otros, *Estudio multidisciplinar de La Laguna (Sariñena, Huesca)*, Huesca, 1986, 167 pp).

Hay que hacer constar nuestro agradecimiento al I.E.A. por la ayuda recibida para la realización de este trabajo.

Dado que en el sistema que nos ocupa, el fitoplancton es el responsable de la mayor parte de la producción primaria y, por tanto, el desencadenante de toda la red trófica, el estudio es de interés primordial para poder interpretar los fenómenos que se producen a partir de él.

Durante el período noviembre de 1985-octubre de 1986, hemos estudiado, con periodicidad mensual, la evolución de la producción primaria.



INSTITUTO DE ESTUDIOS
ALTOARAGONESES

Diputación de Huesca

Durante este tiempo, La Laguna ha mantenido un régimen de llenado desde la cota 280,75 m s/M, hasta 271,10 m s/M, en el mes de marzo, con posterior desbordamiento superficial hasta el mes de setiembre, en el que se ha iniciado su vaciado hasta la cota 280,87 m s/M.

2. MATERIAL Y MÉTODOS.

El ciclo estudiado comprende el período de noviembre de 1985 a octubre de 1986. En dicho período, se han llevado a cabo muestreos con frecuencia aproximadamente mensual.

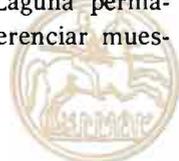
Todas las muestras han sido tomadas en el mismo punto, en la parte central de la cubeta norte, donde La Laguna alcanza su profundidad máxima (2 m), excepto el muestreo del mes de febrero, que, por problemas climáticos, se realizó algo más cerca de la orilla oeste, con lo cual los datos de producción pueden resultar demasiado elevados.

La producción primaria se estimó por el método Winkler, basado en las diferencias en el contenido de O₂ entre muestras incubadas a la luz y otras en oscuridad (Ros, J., 1979). Las muestras de agua se tomaron a siete profundidades diferentes (10, 20, 30, 40, 80, 120 y 160 cm) mediante una bomba peristáltica y se introdujeron en botellas de vidrio de tapón esmerilado. Dichas muestras se pusieron en incubación durante un período de tiempo no inferior a 4 horas y no superior a 5 en sus profundidades correspondientes, de la siguiente manera: las muestras de los 40 cm superiores se introdujeron en un aparato consistente en un armazón de aluminio, al que se le acopló una red metálica doblada en escalones de 10 cm, que soportaba las botellas, mientras que dos boyas proporcionaban flotabilidad al conjunto. Las incubaciones de profundidades superiores, 80 cm, 120 cm y 160 cm, se realizaron colgando las botellas de otra boya con una cuerda de *nylon*.

Para cada profundidad había una muestra duplicada en botellas transparentes y otra dentro de una bolsa que no dejaba pasar la luz, de tal manera que en éstas últimas se medía la respiración de los organismos por disminución del contenido de oxígeno, mientras en las primeras habría un incremento del oxígeno por fotosíntesis.

Previamente, se tomaron muestras en todos los niveles para medir la cantidad de oxígeno presente en el agua.

Para la realización del estudio, era necesario que La Laguna permaneciera en calma, ya que, de lo contrario, es imposible diferenciar mues-



tras en niveles tan próximos como los que se tomaron. Esta condición fue prácticamente imposible de conseguir en los meses de noviembre, enero y febrero, en los que el cierzo fue casi constante. En el mes de noviembre, la mezcla de agua era intensa y los datos correspondientes a ese período tienen el interés de aportar una estima de la baja producción existente, pero posiblemente los datos absolutos no posean mayor fiabilidad. En el mes de enero, la realización del experimento fue imposible, debido al fuerte viento, y en el mes de febrero se realizó, pero teniendo que sujetar el aparato de incubación en la orilla, no pudiéndose realizar las incubaciones de mayor profundidad.

3. RESULTADOS OBTENIDOS.

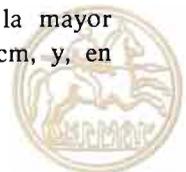
Los datos referentes a la distribución de oxígeno en la columna de agua, durante ese año, están expresados y representados en la tabla 1 y figura 1, respectivamente, en tantos por ciento de saturación.

Podemos observar, en primer lugar, valores similares de concentración de oxígeno en todas las profundidades en los cuatro primeros muestreos. Es el momento del año en que se produce una mayor mezcla vertical por acción del viento. A partir de esas fechas, comienza a producirse una estratificación en las capas profundas, que progresa durante toda la primavera por calentamiento de la capa superior y también por una acción menor del viento, llegando a ser máxima en los meses de verano, en que a los factores climáticos se une una elevada producción primaria en superficie, llegándose a alcanzar el 200 % de saturación de oxígeno.

Otra observación importante es que el contenido de oxígeno en toda La Laguna es muy elevado, manteniéndose durante gran parte del año, sobre todo en los cuarenta centímetros superficiales, sobresaturada, y en ningún caso, ni aun en las capas profundas, se encuentran situaciones de anoxia.

En cuanto a la producción primaria, las tablas de datos se han realizado extrapolando las horas de incubación (de 4 a 5) a las horas de luz, según la época del año, calculándose así la producción diaria.

La producción primaria neta (figura 3) presenta dos máximos importantes en primavera y verano, que posiblemente marcan la colonización por distintas comunidades de plancton. Puede observarse que la mayor parte de la fotosíntesis se realiza a profundidades de 20 a 30 cm, y, en



algunos momentos, también es importante la de 40 cm. A esa profundidad parece que es donde se amortiguan los cambios extremos producidos por encima de ella, ya que alternan máximos y mínimos de menor importancia, prácticamente durante todo el año. Los diez centímetros superiores representan una producción primaria muy baja, que en algunos momentos llega incluso a ser negativa; este fenómeno puede deberse a la enorme proliferación estival de bacterias existente en la superficie del agua. Las profundidades de 80, 120 y 160 cm no presentan producción primaria neta, apareciendo casi siempre valores negativos; esto es debido a la escasa penetración de la luz.

El gráfico correspondiente a la producción primaria bruta (figura 2) sigue la misma forma general del anterior, con los máximos de primavera y verano, aunque se observan algunas pequeñas diferencias respecto a aquélla en la importancia de los diferentes estratos.

En los tres puntos de mayor profundidad, donde la producción neta es escasa, existe una cierta cantidad de fitoplancton que desciende por sedimentación y, en momentos de turbulencia, puede volver a aflorar en superficie. Este proceso de sedimentación hace que los valores de respiración en esta zona no sean muy inferiores a los de la zona fótica, excepto en los meses de verano, cuando hay una separación clara de los treinta centímetros superiores, con valores mucho más elevados. El aumento de los valores de respiración en superficie se debe tanto al fitoplancton como a la proliferación bacteriana, ya que la producción primaria neta en la capa superficial (10 cm) es muy baja y, sin embargo, se produce un gran consumo de oxígeno.

Para interpretar adecuadamente los datos obtenidos, hay que tener en cuenta el régimen que ha seguido La Laguna durante el período de estudio. En los meses de invierno, se permitió su llenado hasta la cota máxima, que se alcanzó en el mes de abril. En ese momento, las entradas de agua comenzaban a ser mayores, no tanto por el efecto de las lluvias como por el mayor aporte de los canales de riego; así, La Laguna comenzó a desbordar por la tajadera de salida, produciéndose de esa manera una renovación continua de la capa superficial.

La influencia de este drenaje ha sido importante, al producirse en los meses en que La Laguna permanece más estratificada, como muestra la gráfica de distribución del contenido de oxígeno (figura 1), debido a un mayor calentamiento de la capa superficial y a una menor acción del viento.

En el momento en que La Laguna alcanzó su máxima cota, ya se



había producido la explosión primaveral del fitoplancton, compuesto principalmente por especies que se mantienen en superficie cuando la turbulencia es intensa. Aunque el ritmo de reproducción de algunas de estas especies es elevado, la parte de la población que carece de mecanismos para mantenerse en suspensión puede perderse por sedimentación, al disminuir la agitación del agua en la primavera avanzada. A esto hay que unir la renovación de la capa superficial por salida de agua fuera de La Laguna, que, sin duda, arrastra gran parte del fitoplancton, con lo que en el mes de mayo encontramos un gran descenso de la producción, que, posteriormente, se irá recuperando —con lentitud— durante los meses de junio y julio, hasta volver a alcanzar un máximo.

En condiciones de temperatura y nutrientes adecuadas aparece una segunda población, que sustituye a la primera por su facilidad para captar los nutrientes necesarios para su desarrollo. Estas especies tienen un ritmo de multiplicación elevado, llegando a producir un auténtico puré verde de organismos, que poseen mecanismos de flotabilidad y aprovechan al máximo los nutrientes (clorofíceas y, sobre todo, cianofíceas).

En campañas anteriores habíamos observado la presencia estival, bastante elevada, de cianofíceas fijadoras de nitrógeno, con lo que suponemos que la elevada producción primaria en superficie producía una desnitrificación de esta capa y esos organismos se desarrollaban ventajosamente en esas condiciones.

Sin embargo, este año, la presencia de fijadores de nitrógeno es escasa, y la cantidad de compuestos de nitrógeno (nitritos, nitratos y N-amoniaco) disueltos en el agua es más alta; por lo que suponemos que la continua salida de agua de La Laguna produce una renovación de la capa superficial, arrastrando organismos, con lo que disminuye la producción y no se llega a un agotamiento de nutrientes (FINDENEGG, 1965). Esta situación mantiene la población de La Laguna en una etapa anterior, a la que podríamos denominar de máxima eutrofización, que se produciría a fin de verano.

Como habíamos intuido en experimentos previos, la penetración de la luz condiciona en gran manera la capacidad productiva de La Laguna (GANG, 1982). El valor máximo obtenido de profundidad de visión del disco de Secchi ha sido de 31 cm en el mes de diciembre. La escasa penetración de la luz se debe principalmente a dos factores: los sólidos en suspensión y la concentración de fitoplancton (HARTMAN, 1981). La gran concentración de sólidos en suspensión comporta una elevada turbidez, que produce una gran atenuación de la luz dentro del agua. Esta



turbidez se mantiene por turbulencia generada por los vientos dominantes (Noroeste y en ocasiones Sureste), que disminuyen sin llegar a desaparecer en los meses más cálidos; en ese momento, la turbidez es debida a la elevada concentración de fitoplancton en las capas superficiales (BLAAUBOER, 1982; MARINS, 1981).

Para expresar de manera sencilla todos los datos anteriormente citados, hemos calculado el cociente producción neta/producción bruta en los cuarenta centímetros superiores (tabla 6, figura 6), que expresa la eficacia fotosintética de cada estrato. Esto es, desde un punto de vista ecológico, la proporción de la producción primaria que queda a disposición de los siguientes niveles tróficos. Así, observamos que en los meses más fríos la eficacia de todo el estrato es importante, mientras que en los meses más cálidos son los niveles más profundos los que presentan una mayor eficacia. Aquí hay que tener en cuenta la renovación de la capa superficial. En los meses de primavera, no hay un funcionamiento estable. Comparando esta gráfica con las de producción, podemos concluir que de mayo a setiembre es el estrato de 40 cm de profundidad el que presenta los valores más elevados de PN/PB, mientras que los valores de producción absolutos siempre son inferiores, al menos a los del estrato inmediatamente superior.

Los diez centímetros superiores nunca llegan a presentar el 75 % de eficacia.

También se ha calculado la producción total conjunta de los cuarenta centímetros superficiales para toda La Laguna, considerando como cota media 280,90 m s/M, para tener una estima de la capacidad de producción primaria y su evolución durante el año que ha durado el estudio (ver tabla 5, figura 5).

4. DISCUSIÓN.

Por las especiales características de esta Laguna, ha sido de gran interés poder hacer una división fina de la capa superficial, de cara a evaluar la producción.

Con los datos obtenidos, pensamos que quizás hubiera sido interesante realizar esa partición también en 50 y 60 cm, para ver con más claridad si en algún momento se encuentra una profundidad de compensación, esto es, la profundidad a la cual la producción bruta iguala a la respiración, aunque es probable que no esté claramente delimitada.



Los valores de producción primaria neta calculados (entre $1,5 \text{ g C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$ y $15,5 \text{ g C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) indican que hay una gran cantidad de materia orgánica sintetizada a disposición de los siguientes niveles tróficos. El fitoplancton sirve de alimento directamente al zooplancton (rotíferos y copépodos principalmente), y por sedimentación, a los organismos del bentos (larvas de quironómido). A su vez, este segundo nivel es capturado por peces y aves limícolas. Algunos peces también ingieren fitoplancton, quizás por falta de alimento abundante más adecuado.

En el nivel superior de la malla trófica, se encuentran las aves ictiófagas y rapaces que capturan otras aves de las anteriormente citadas.

De las variaciones en la producción primaria observadas deducimos la elevada importancia del régimen hídrico de La Laguna y de la calidad de los aportes; de tal manera que la renovación de la capa superficial comporta un lavado de organismos fitoplanctónicos, con lo que se mantiene a La Laguna en una etapa más tiempo del que estaría si ese efecto no se produjera.

La aparición de una gran cantidad de bacterias también va unida a la renovación de la capa de superficie y es explicable por la capacidad de estos organismos de aprovechar concentraciones bajas de compuestos orgánicos en solución, compitiendo con ventaja sobre las algas heterotróficas en esas condiciones (HOBBIE, 1965).

BIBLIOGRAFÍA.

- BLAAUBOER, M. C. I., *The phytoplankton species compositions and the seasonal periodicity in lake Vechten from 1956 to 1979*, "Hydrologia", 95 (1982), pp. 25-36.
- FINDENEGG, I., *Factors controlling primary productivity especially with regard to water replenishment, stratification and mixing*, "Mem. Ist. Ital. Idrobiol.", 18 Suppl. (1965), pp. 105-119.
- GANG, G. G., OLIVER, R. L., *Vertical separation of light and available nutrients as a factor causing replacement of green-algae by blue-green algae in the plankton of a stratified lake*, "The Journal of Ecology", 70 (3) (1982), pp. 829-844.
- HARTMAN, E., ASBURY, C., COLER, R. A., *Seasonal variations of primary productivity in lake Tapacura, a tropical reservoir*, "Journal of Freshwater Ecology", 2 (1) (1981), pp. 203-214.
- HOBBIE, J. E., WRIGHT, R. T., *Competition between planktonic bacteria and algae for organic solutes*, "Mem. Ist. Ital. Idrobiol.", 18 Suppl. (1965), pp. 175-185.
- MARINS, M. de A., *Wind as a important factor in the ecology of freshwater phytoplankton*, "Revista de Biología tropical", 29 (2) (1981), pp. 197-208.
- PEDROCCHI et al., *Estudio multidisciplinar de La Laguna, Sariñena (Huesca)*, Colección de Estudios Altoaragoneses, núm. 6, Huesca, 1986, 167 pp.
- ROS, J. et al., *Prácticas de Ecología*, Ed. Omega, 1979, 181 pp.



TABLA 1

Distribución general del oxígeno en tanto por ciento de saturación.

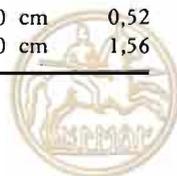
	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	80 cm	120 cm	160 cm
Nov.	85,27	91,41	85,27	80,62	82,17	93,02	80,62
Dic.	113,6	112	116,8	113,6	115,2	113,6	102,4
Feb.	124,3	124,3	120,72	120,72			
Mar.	74	72	80	70	70	70	52
Abr.	144,3	152,6	148,45	140,2	134	74,23	51,55
May.	141,2	143,5	138,8	148,2	117,6	80	54
Jun.	147,6	145,2	148,8	133,3	92,86	80,95	73,8
Jul.	195	205	152,5	130	105	97,5	75
Ago.	148,7	180,5	151,2	124,4	80,5	75,6	70,7
Set.	131,6	101,3	83,5	70,89	40,5	27,8	35,4
Oct.	136,2	134	136,2	119,15	112,76	102,13	85,11

TABLA 2

Producción bruta diaria expresada en gramos de carbono por metro cúbico

NOVIEMBRE		DICIEMBRE		FEBRERO		MARZO	
Profun.	g C/m ³	Profun.	g C/m ³	Profun.	g C/m ³	Profun.	g C/m ³
10 cm	0,6	10 cm	0,6	10 cm	4,26	10 cm	9,12
20 cm	1,5	20 cm	2,4	20 cm	13,1	20 cm	14,16
30 cm	2,1	30 cm	2,9	30 cm	14,47	30 cm	10,2
40 cm	1,5	40 cm	3,3	40 cm	7,61	40 cm	5,16
80 cm	-0,15	80 cm	0,3	80 cm	—	80 cm	0,24
120 cm	-0,15	120 cm	-0,1	120 cm	—	120 cm	0,72
160 cm	0,15	160 cm	-0,95	160 cm	—	160 cm	0,72

ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO	
Profun.	g C/m ³						
10 cm	—	10 cm	3,52	10 cm	3,15	10 cm	7,82
20 cm	7,89	20 cm	6,93	20 cm	9,61	20 cm	18,12
30 cm	6,83	30 cm	8,32	30 cm	11,34	30 cm	17,61
40 cm	7,52	40 cm	7,18	40 cm	11,18	40 cm	10,56
80 cm	2,09	80 cm	1,00	80 cm	1,89	80 cm	-0,26
120 cm	-0,28	120 cm	-1,13	120 cm	0,47	120 cm	0,52
160 cm	1,46	160 cm	-0,50	160 cm	0,16	160 cm	1,56



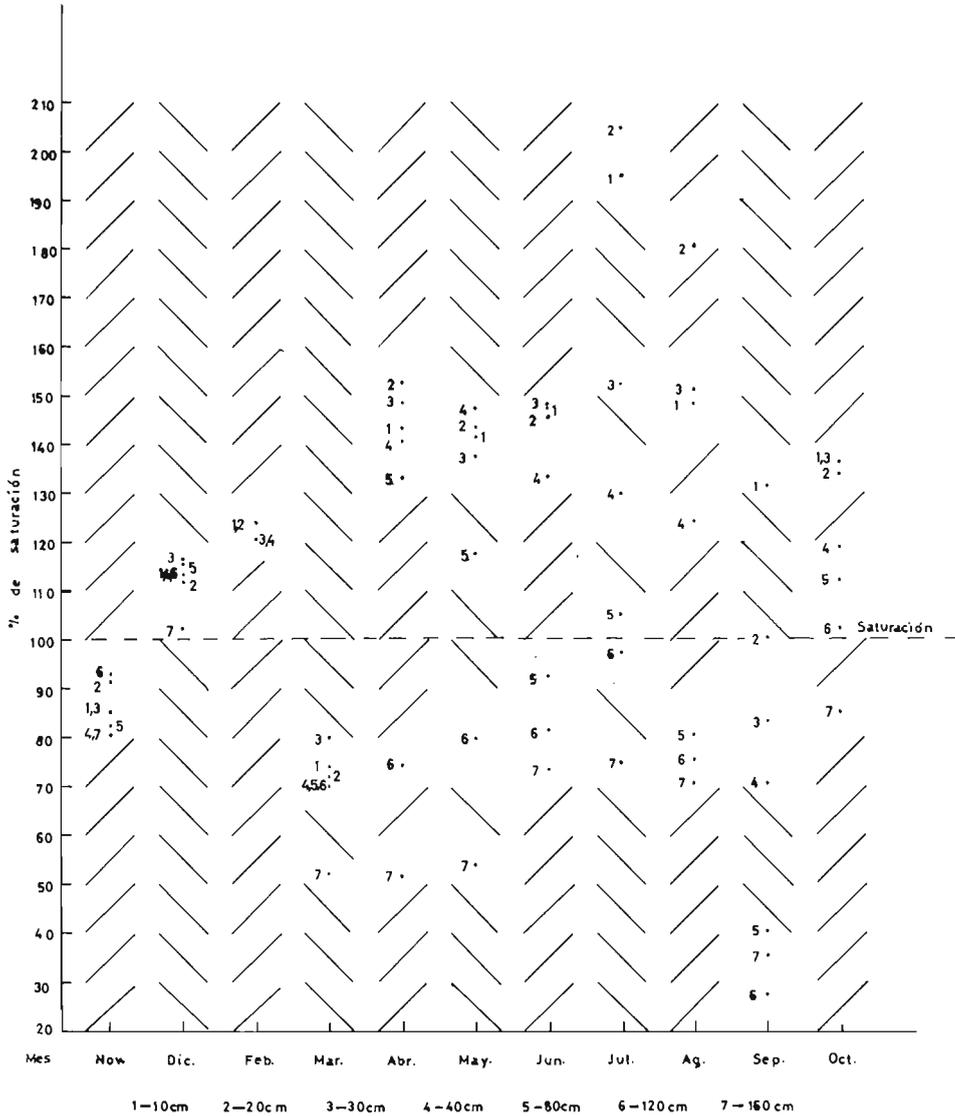


Figura 1: Distribución del O₂ a lo largo del año y a siete profundidades en % de saturación



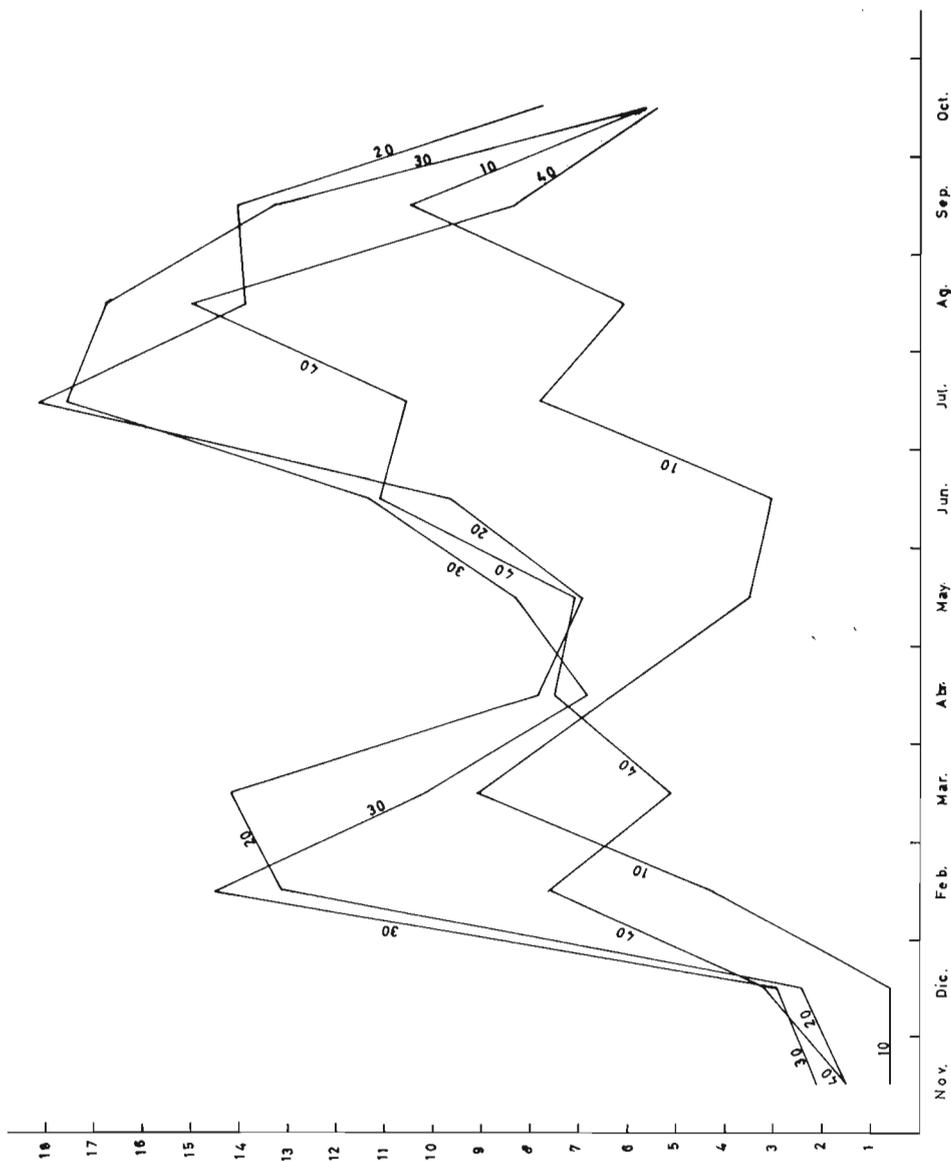


Figura 2: Producción bruta diaria en g.C/m³



AGOSTO		SETIEMBRE		OCTUBRE	
Profun.	g C/m ³	Profun.	g C/m ³	Profun.	g C/m ³
10 cm	6,17	10 cm	10,53	10 cm	5,67
20 cm	13,95	20 cm	14,04	20 cm	7,83
30 cm	16,80	30 cm	12,28	30 cm	5,4
40 cm	15,08	40 cm	8,34	40 cm	5,4
80 cm	0,57	80 cm	0,73	80 cm	0,27
120 cm	-0,46	120 cm	0,15	120 cm	-0,135
160 cm	1,97	160 cm	0,29	160 cm	0,011

TABLA 3

Producción neta diaria expresada en miligramos de oxígeno por litro.

NOVIEMBRE		DICIEMBRE		FEBRERO		MARZO	
Profun.	mg O ₂ /l	Profun.	mg O ₂ /l	Profun.	mg O ₂ /l	Profun.	mg O ₂ /l
10 cm	4	10 cm	0,88	10 cm	6,09	10 cm	11,73
20 cm	3,33	20 cm	5,77	20 cm	26,4	20 cm	23,46
30 cm	6,66	30 cm	5,55	30 cm	30,12	30 cm	13,6
40 cm	8	40 cm	5,55	40 cm	16,25	40 cm	2,93
80 cm	3,66	80 cm	-1,55	80 cm	—	80 cm	-6,4
120 cm	-1	120 cm	-3,11	120 cm	—	120 cm	-4,26
160 cm	2,33	160 cm	-0,33	160 cm	—	160 cm	1,06

ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO	
Profun.	mg O ₂ /l						
10 cm	—	10 cm	3,52	10 cm	-2,1	10 cm	-0,58
20 cm	10,68	20 cm	13,72	20 cm	12,25	20 cm	18,25
30 cm	10,83	30 cm	14,56	30 cm	19,25	30 cm	29,84
40 cm	13,6	40 cm	12,04	40 cm	19,25	40 cm	18,24
80 cm	1,55	80 cm	2,24	80 cm	0	80 cm	-0,57
120 cm	1,86	120 cm	-1,4	120 cm	-0,35	120 cm	-2,89
160 cm	-1,08	160 cm	-2,8	160 cm	-2,45	160 cm	-0,58

AGOSTO		SETIEMBRE		OCTUBRE	
Profun.	mg O ₂ /l	Profun.	mg O ₂ /l	Profun.	mg O ₂ /l
10 cm	3,05	10 cm	8,45	10 cm	6
20 cm	22,86	20 cm	27,3	20 cm	11,4
30 cm	34,29	30 cm	22,1	30 cm	6,6
40 cm	33,02	40 cm	17,2	40 cm	7,8
80 cm	0,25	80 cm	-2,27	80 cm	-3
120 cm	-1,52	120 cm	-0,97	120 cm	-0,9
160 cm	-1,02	160 cm	-4,55	160 cm	-1,5



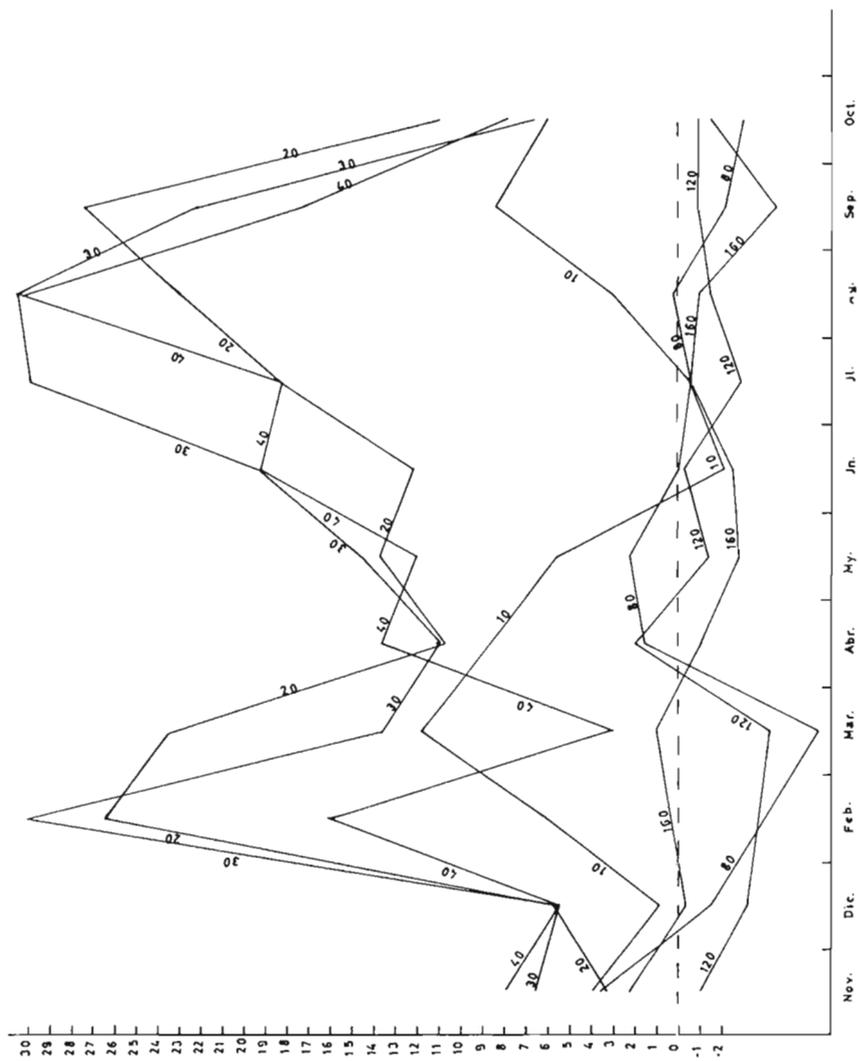


Figura 3: Producción primaria neta en mg O₂/l



TABLA 4

Respiración diaria expresada en miligramos de oxígeno por litro.

DICIEMBRE		FEBRERO		MARZO		ABRIL	
Profun.	mg O ₂ /l	Profun.	mg O ₂ /l	Profun.	mg O ₂ /l	Profun.	mg O ₂ /l
10 cm	0,44	10 cm	3,38	10 cm	8,53	10 cm	4,95
20 cm	0,44	20 cm	2,70	20 cm	8	20 cm	6,8
30 cm	0,88	30 cm	2,03	30 cm	9,06	30 cm	4,33
40 cm	1,77	40 cm	0,68	40 cm	8,53	40 cm	3,09
80 cm	2,22	80 cm	—	80 cm	6,93	80 cm	3,09
120 cm	2,88	120 cm	—	120 cm	5,86	120 cm	2,48
160 cm	1,77	160 cm	—	160 cm	0,53	160 cm	4,33

MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO	
Profun.	mg O ₂ /l						
10 cm	2,24	10 cm	9,1	10 cm	17,96	10 cm	10,67
20 cm	1,68	20 cm	9,1	20 cm	22,01	20 cm	8,13
30 cm	3,92	30 cm	5,95	30 cm	9,27	30 cm	3,05
40 cm	3,92	40 cm	5,6	40 cm	5,21	40 cm	0,5
80 cm	0	80 cm	4,2	80 cm	0	80 cm	1,02
120 cm	1,12	120 cm	1,4	120 cm	4,04	120 cm	0,50
160 cm	1,68	160 cm	2,8	160 cm	4,05	160 cm	3,40

SETIEMBRE		OCTUBRE	
Profun.	mg O ₂ /l	Profun.	mg O ₂ /l
10 cm	14,95	10 cm	6,6
20 cm	3,9	20 cm	6
30 cm	5,2	30 cm	5,4
40 cm	1,3	40 cm	4,2
80 cm	3,9	80 cm	3,6
120 cm	1,3	120 cm	0,6
160 cm	3,9	160 cm	1,8



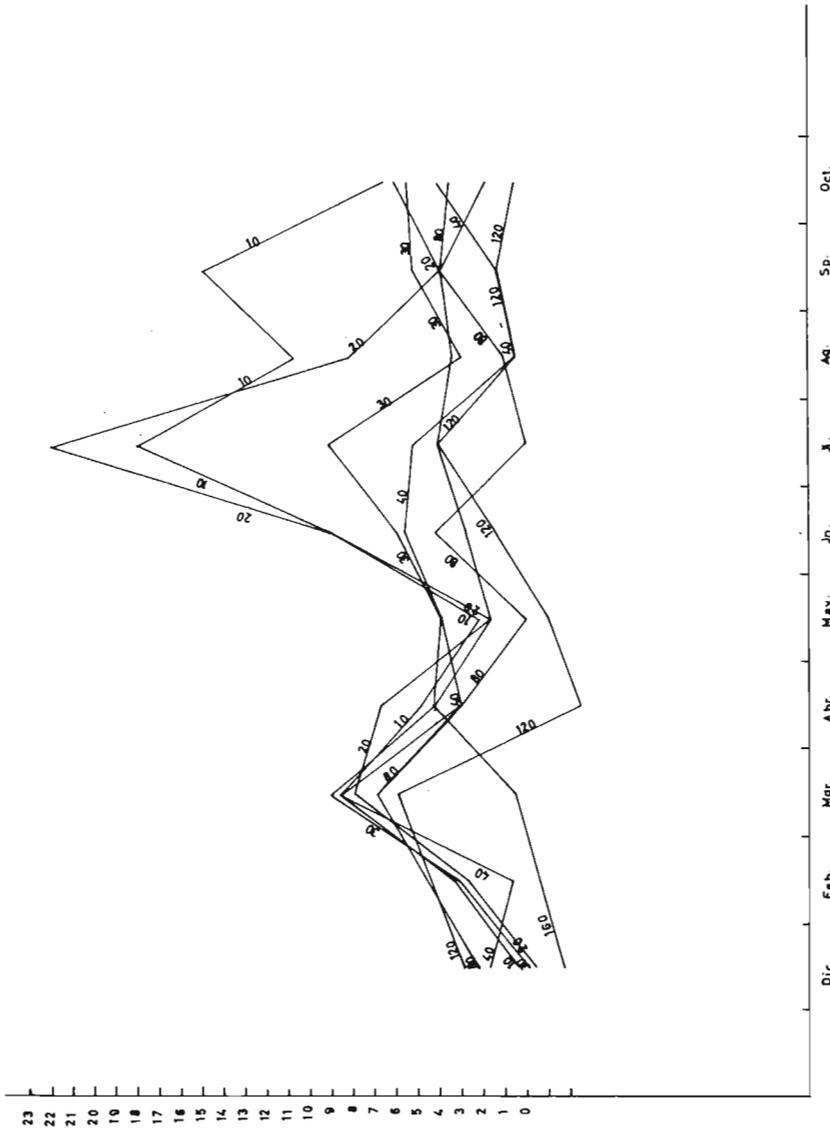


Figura 4: Respiración en mg. O₂/l



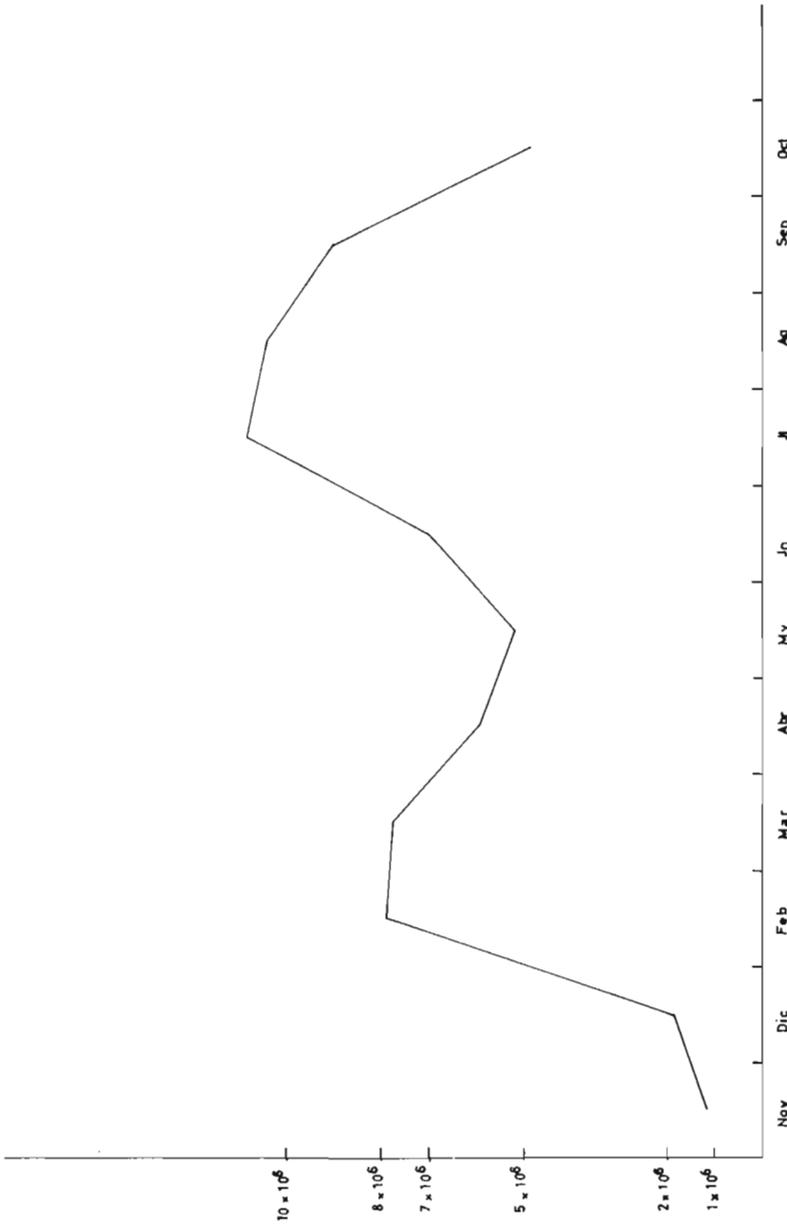


Figura 5: Evolución de la producción total a 40cm superficiales a lo largo del año



TABLA 5

Producción bruta para la superficie de La Laguna en los cuarenta centímetros superiores

Nov.	1,14 × 10 ⁶ g C	Abr.	5,92 × 10 ⁶ g C	Ago.	10,4 × 10 ⁶ g C
Dic.	1,8 × 10 ⁶ g C	May.	5,2 × 10 ⁶ g C	Set.	9,04 × 10 ⁶ g C
Feb.	7,89 × 10 ⁶ g C	Jun.	7,06 × 10 ⁶ g C	Oct.	4,86 × 10 ⁶ g C
Mar.	7,73 × 10 ⁶ g C	Jul.	10,82 × 10 ⁶ g C		

TABLA 6

Relación PN/PB

Profundidad	PN/PB									
10 cm	0,66	0,64	0,58	—	0,71	—	—	0,22	0,36	0,48
20 cm	1	0,91	0,75	0,61	0,89	0,57	0,45	0,73	0,87	0,65
30 cm	0,86	0,94	0,6	0,71	0,79	0,76	0,76	0,92	0,81	0,55
40 cm	0,75	0,96	0,26	0,82	0,75	0,77	0,77	0,98	0,93	0,65
	Dic.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.

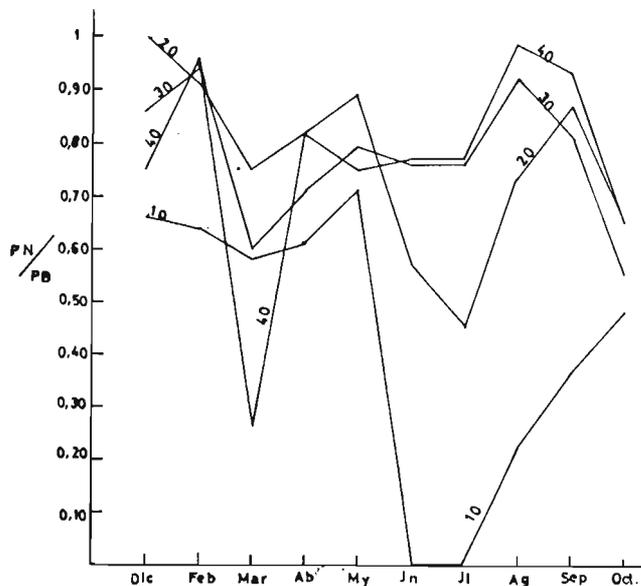


Figura 6: Relación producción neta producción bruta

