

**ESTUDI DE LA RELACIÓ ENTRE LA PRODUCCIÓ
I ELS PIGMENTS FOTOSINTETITZADORS
A *LOLIUM PERENNE*, L.**

Comunicació presentada el dia 16 de març de 1972 per la doctora

M. CONCEPCIÓ RIGAU

Laboratori de Fisiologia Vegetal. Facultat de Ciències.
Universitat de Barcelona

La producció de matèria orgànica per la fotosíntesi és el procés fonamental de fixació d'energia per al desenvolupament normal de les diverses funcions dels éssers vivents, i és per això que la seva mesura és molt interessant per a conèixer quines són les possibilitats que el nostre planeta pot oferir a la creixença de la vida.

La mesura de l'esmentada producció pot ésser duta a terme mitjançant mètodes indirectes (recol·lecció i pesada del material vegetal objecte de l'estudi); en la pràctica, però, llur aplicació és inoperant, puix que la vegetació d'un hàbitat determinat és composta per un conjunt de plantes anuals, bianuals i perennes en el qual és difícil de fer aquesta recol·lecció.

És per això que generalment hom recorre a la utilització de mètodes indirectes basats en la mesura dels factors que l'afecten, que són, en definitiva, els mateixos que intervenen en la fotosíntesi (llum, pigments, àrea foliar, intercanvi de gasos, etc.).

Hi ha diversos treballs que pretenen d'arribar a establir la relació entre la producció primària i la quantitat de pigments produïts per les plantes al llarg del temps; ^{11, 13, 15, 21, 22} aquest procediment ofereix d'altra banda la possibilitat d'arribar a conèixer la relació entre el contingut en pigments i els diferents estats fisiològics i ecològics de les plantes.

Sobresurten els resultats obtinguts per Brougham en diverses espècies farratgeres assenyalant l'existència d'una elevada correlació entre els màxims de creixement i la quantitat de clorofil·la per unitat de superfície de conreu.⁴

BRAY ^{2, 3} i també MEDINA i LIETH ^{10, 14} troben correlació entre el contingut en clorofil·les i l'acumulació anual de matèria seca.

En aquest treball hom pretén d'investigar l'esmentada relació pigments-producció en l'espècie *Lolium perenne*, L.

D'altra banda, i per tal com sembla demostrada l'existència d'uns ritmes anual i estacionals en el creixement i en la producció de les plantes, ^{6, 7, 16, 17, 18} si hom arriba a demostrar una correlació entre els pigments i la producció, és lògic esperar de trobar també una ritmicitat en la concentració dels pigments.

MATERIAL I MÈTODES

Hem treballat amb l'espècie *Lolium perenne*, L. conreada en parcel·les (distribuïdes en quadrat llatí segons les normes establertes per la Col·laboració Internacional sobre ritmes de creixement en les plantes) situades sobre un antic camp de conreu prop del Palau de Pedralbes de Barcelona (fig. 1).

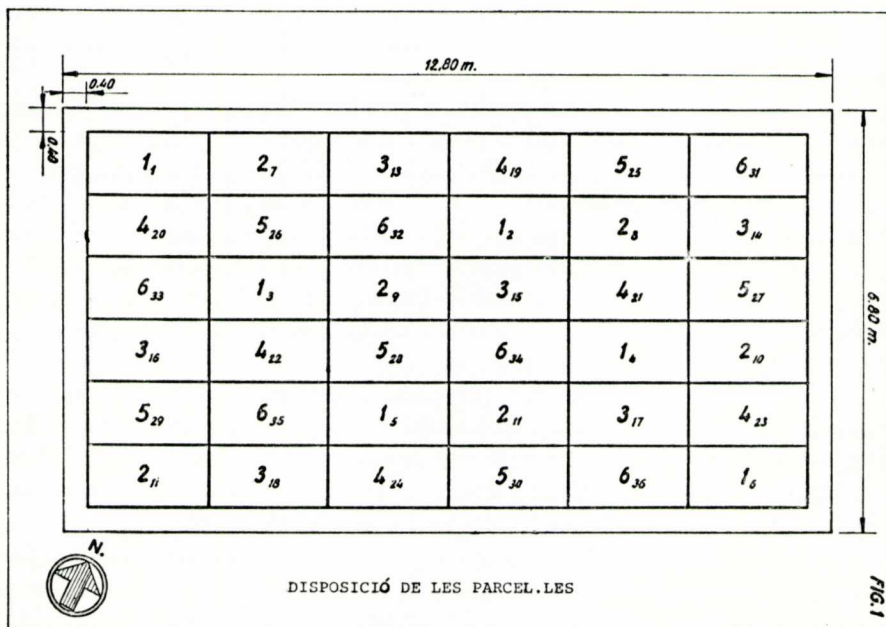


FIG. 1

Dues vegades per setmana ha estat recollectat el material de sis parcel·les, fent els talls amb tisores, sempre a la mateixa alçada sobre el nivell del sòl (3,5 cm) i segons l'esquema següent:

Primera setmana

- dilluns
- dijous

PARCEL·LES

1₁, 1₂, 1₃, 1₄, 1₅, 1₆
 2₇, 2₈, 2₉, 2₁₀, 2₁₁, 2₁₂

Segona setmana

PARCEL·LES

— dilluns	3 ₁₃ '	3 ₁₄ '	3 ₁₅ '	3 ₁₆ '	3 ₁₇ '	3 ₁₈ '
— dijous	4 ₁₉ '	4 ₂₀ '	4 ₂₁ '	4 ₂₂ '	4 ₂₃ '	4 ₂₄ '

Tercera setmana

— dilluns	5 ₂₅ '	5 ₂₆ '	5 ₂₇ '	5 ₂₈ '	5 ₂₉ '	5 ₃₀ '
— dijous	6 ₃₁ '	6 ₃₂ '	6 ₃₃ '	6 ₃₄ '	6 ₃₅ '	6 ₃₆ '

Quarta setmana

Es tornen a recollectar les parcel·les núm. 1, amb la qual cosa comença el cicle. Per tant, la recollecció del material de cada parcel·la correspon a la seva producció durant vint-i-un dies.

L'adob ha estat sempre adob mineral repartit en fraccions iguals, seguint el ritme dels talls, després de cadascun d'ells i amb reg immediat. Ha estat aplicada la relació 1,2 : 1 : 1 amb dosis de 1,700 kg/ha, preparada amb nitrosulfat amònic, superfosfat de calç, fosfat biamònic i clorur potàssic (250 kg/ha de nitrogen).

De les dues mostres recollides setmanalment, hem determinat:

—Pes fresc total directament sobre el terreny i després del tall.

—Pes sec mitjançant dessecació en estufa a 105° C.

—% de pes sec respecte al pes fresc.

Per a la determinació dels pigments han estat obtingudes dotze dades per a cada sega, puix que els extrems de cada parcel·la han estat realitzats per duplicat; per al posterior estudi de correlacions hem operat amb el valor mitjà de les dotze determinacions després d'anàlitzada estadísticament llur significació.

La tècnica emprada per a la realització dels extrems ha estat la d'homogeneïtzació del material mitjançant un homogeneïtzador «Griffith» i amb acetona del 80 %. Aquesta tècnica ha estat aplicada després de diversos assaigs en diferents espècies i de comprovar llur validesa àdhuc quan els extrems han estat fets per diverses persones.

TAULA I
 DADES DEL CREIXEMENT EN 21 DIES

	Pes fresc (kg/2 m ²)	Pes sec (kg/2 m ²)	% pes sec
8-2	0,270	0,059	21,9
11-2	0,265	0,068	25,8
15-2	0,224	0,056	25,1
18-2	0,202	0,047	23,3
22-2	0,365	0,070	19,3
25-2	0,389	0,076	19,6
1-3	0,429	0,070	16,5
4-3	0,311	0,066	21,4
8-3	0,773	0,143	18,6
11-3	1,345	0,199	14,9
15-3	1,370	0,274	14,7
18-3	1,708	0,284	16,6
22-3	2,887	0,439	15,2
25-3	3,750	0,560	14,8
29-3	3,679	0,568	15,4
1-4	4,375	0,658	15,0
5-4	4,383	0,646	14,8
8-4	3,600	0,545	14,6
12-4	3,058	0,503	15,9
15-4	2,966	0,425	14,4
19-4	1,875	0,316	16,8
22-4	1,516	0,300	19,8
26-4	1,300	0,280	21,6
29-4	1,183	0,224	19,0
3-5	0,958	0,191	20,1
6-5	0,520	0,118	22,7
10-5	0,312	0,067	21,6
13-5	0,510	0,111	22,0
17-5	0,234	0,059	25,3
20-5	0,404	0,096	23,6
24-5	0,455	0,105	23,2
27-5	0,670	0,149	22,4
31-5	0,625	0,136	21,8
3-6	1,382	0,263	19,0
7-6	1,304	0,273	21,1
10-6	0,866	0,184	21,3
14-6	0,712	0,172	24,2
17-6	0,583	0,132	22,6
21-6	0,350	0,082	23,6
24-6	0,295	0,072	24,4
28-6	0,225	0,052	23,4
1-7	0,258	0,063	24,5
5-7	0,262	0,066	25,5
8-7	0,254	0,059	23,5
12-7	0,333	0,076	23,5
15-7	0,471	0,096	20,4

Per tal d'evitar la possible introducció d'errors en la posterior determinació dels pigments, han estat preses dues mesures:

1) Segons alguns autors, hi ha una variació en el contingut en pigments, sobretot clorofil·lics, a les plantes durant el dia, ^{1, 5, 8, 9, 24} i és per això que les mostres han estat preses sempre aproximadament a la mateixa hora.

2) Per a la millor conservació dels pigments els extrems han estat realitzats a la penombra i una vegada preparats han estat guardats a les fosques fins a ésser valorats.

La determinació quantitativa dels pigments ha estat realitzada mitjançant un espectrofotòmetre «Uvispek» (Servei d'Espectroscopia de la Universitat de Barcelona) i aplicant les fórmules proposades per RICHARDS i THOMPSON.¹⁹

Per tal d'aconseguir l'extracció total dels pigments en les plantes superiors, és convenient d'emprar acetona de 80 % en lloc d'acetona de 90 % (emprada per RICHARDS i THOMPSON per al plàncton) i amb això el màxim d'absorció a la banda del vermell no és a 665 nm sinó cap als 662 nm o 663 nm, per la qual cosa, en utilitzar les fórmules anteriors, ha estat substituït el valor D_{665} pel $D_{\text{màx}}$ en aquesta zona.

D'altra banda, i per tal de corregir els possibles errors deguts al fet que els extrems fossin tèrbols, hi hem introduït el factor de correcció esmentat en alguns treballs^{12, 23} quan els valors D_{750} nm són superiors a 0,010.

Les dades obtingudes directament de l'aplicació de les fórmules de RICHARDS i THOMPSON són en quantitat de pigments continguts en un litre d'extret i per tant, coneguda la dilució, podem referir-les a 0/00 en pes fresc. De la mateixa manera i com que coneixem per a cada data el tant per cent de pes sec en pes fresc i la quantitat d'aquest producte per parcel·la, podem també traduir les dades de pigments a 0/00 en pes sec i a quantitat de clorofilla *a* o de carotinoides per superfície de la parcel·la (taula II).

RESULTATS

Amb les dades de producció obtingudes durant cinc mesos (del 8 de febrer al 15 de juliol de 1965) han estat construïdes les gràfiques corresponents (fig. 2) comparant-les amb les de la variació en el contingut en pigments durant el mateix període (fig. 3, 4 i 5).

TAULA II
CONCENTRACIÓ DELS PIGMENTS

	mg/l	Clorofilla <i>a</i> ‰ en p.s.	g/2 m ²	MSPU/l	Carotinoides ‰ en p.s.	SPU/2 m ²
8-2	1,807	12,432	0,735	2,032	3,710	0,219
11-2	6,546	10,146	0,696	1,986	3,078	0,211
15-2	6,777	10,795	0,607	2,094	3,335	0,187
18-2	5,276	9,053	0,426	1,696	2,910	0,137
22-2	5,897	12,216	0,860	1,865	3,864	0,272
25-2	5,689	11,605	0,885	1,713	3,494	0,266
1-3	—	—	—	—	—	—
4-3	6,313	11,798	0,785	1,996	3,730	0,248
8-3	5,827	12,528	1,801	1,720	3,698	0,531
11-3	5,894	15,819	3,170	1,690	4,535	0,909
15-3	5,622	15,297	4,205	1,506	4,097	1,126
18-3	5,237	12,615	3,577	1,353	3,258	0,924
22-3	—	—	6,665	—	—	1,763
25-3	4,962	13,497	7,443	1,399	3,536	1,973
29-3	4,939	12,826	7,268	1,321	3,430	1,943
1-4	4,513	12,031	7,897	1,159	3,089	2,028
5-4	4,851	13,107	8,504	1,248	3,372	2,187
8-4	4,310	11,805	6,206	1,143	3,130	1,645
12-4	4,333	10,897	5,300	1,249	3,141	1,527
15-4	—	—	—	—	—	—
19-4	—	—	—	—	—	—
22-4	4,951	10,001	2,990	1,501	3,032	0,910
26-4	5,061	9,375	2,633	1,643	3,041	0,854
29-4	5,071	10,674	2,399	1,558	3,279	0,737
3-5	6,129	12,196	2,348	1,817	3,615	0,696
6-5	6,188	10,903	1,287	1,910	3,365	0,397
10-5	5,558	10,287	0,693	1,688	3,124	0,210
13-5	6,736	12,246	1,374	1,963	3,568	0,400
17-5	6,941	10,973	0,649	1,970	3,114	0,184
20-5	6,340	10,749	1,024	1,853	3,138	0,299
24-5	6,106	10,526	1,111	1,806	3,113	0,328
27-5	—	—	—	—	—	—
31-5	5,934	9,214	1,356	1,499	2,749	0,374
3-6	—	—	—	—	—	—
7-6	—	—	—	—	—	—
10-6	4,747	8,910	1,644	1,447	2,716	0,501
14-6	5,317	8,783	1,514	1,528	2,525	0,435
17-6	5,072	8,972	1,182	1,529	2,687	0,354
21-6	5,175	8,760	0,724	1,474	2,496	0,206
24-6	—	—	—	—	—	—
28-6	5,674	9,696	0,510	1,531	2,617	0,137
1-7	5,679	9,268	0,586	1,507	2,459	0,155
5-7	6,310	9,894	0,661	1,686	2,643	0,171
8-7	6,517	11,091	0,662	1,807	3,073	0,183
12-7	6,011	10,230	0,800	1,677	2,854	0,223
15-7	6,244	12,238	1,176	1,756	3,441	0,330

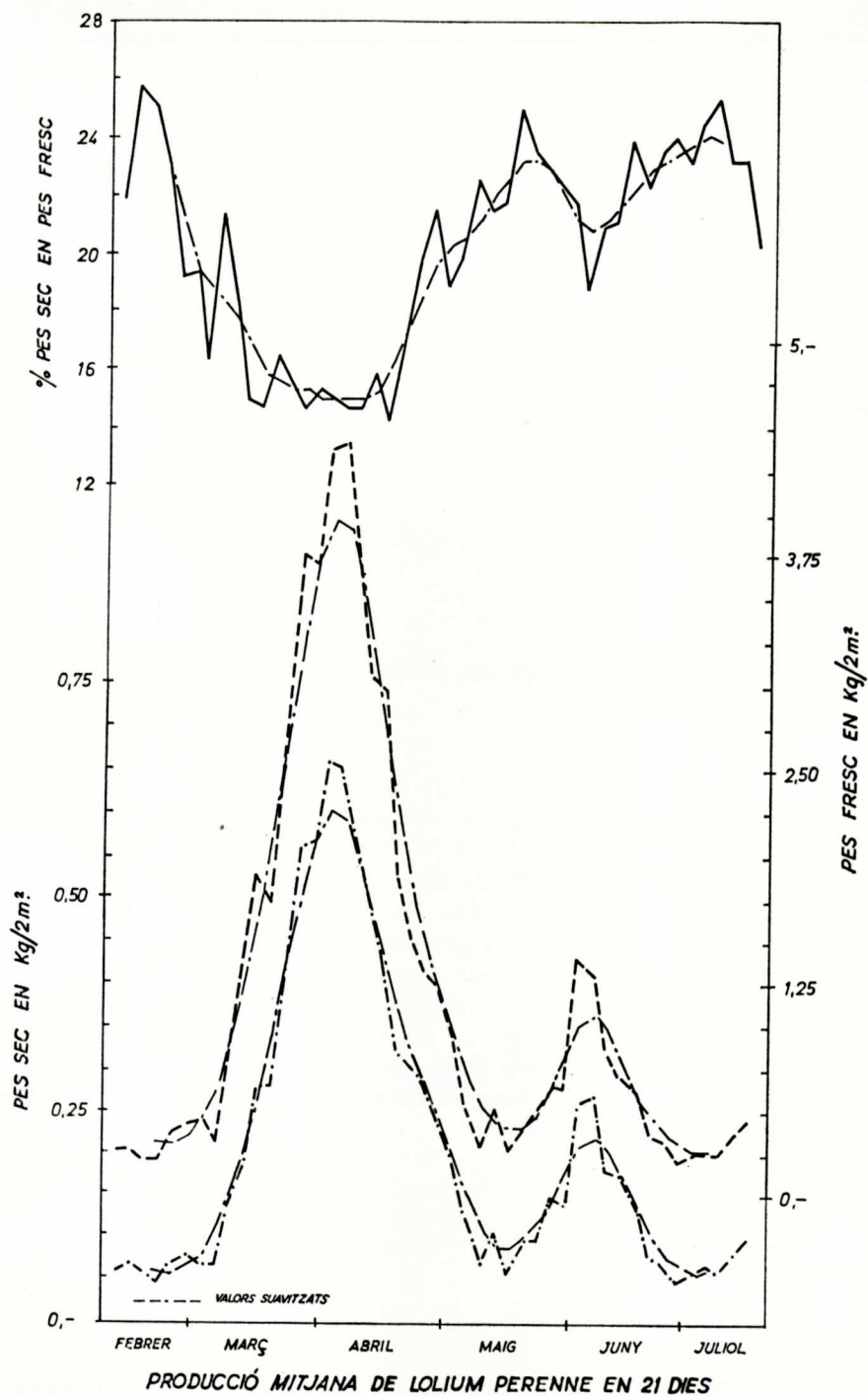


FIG. 2

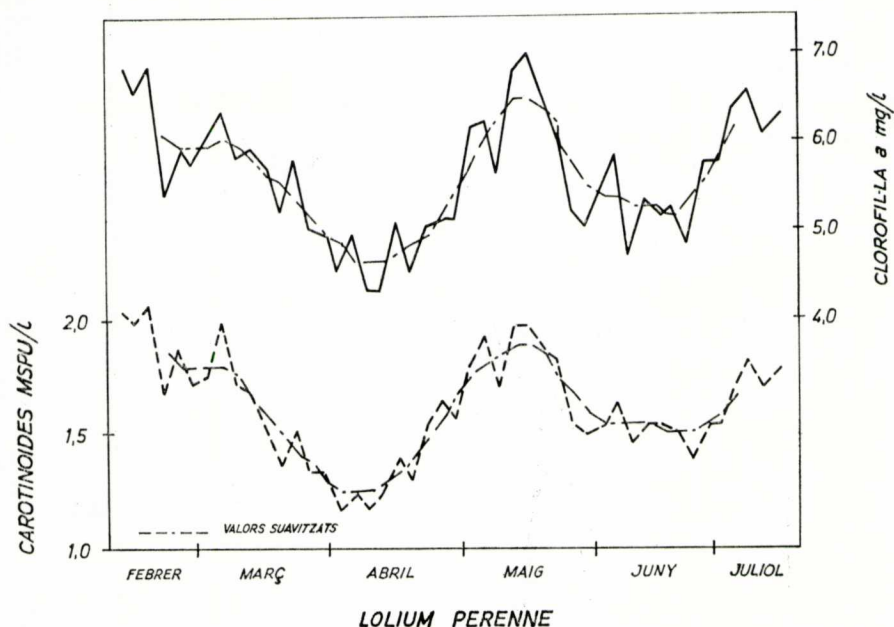


FIG. 3

En aquestes gràfiques, i per tal de trobar la tendència general de les sèries, al traçat corresponent als valors reals ha estat superposat el dels suavitzats obtinguts pel mètode de mitjanes mòbils simples repetides.²⁵

En primer lloc ha estat calculat el grau de correlació existent entre les tres mesures de la producció, el qual ha resultat molt significatiu, essent la relació directa entre pes sec i pes fresc ($r=0,992$), i inversa entre pes sec i % pes sec ($r=-0,882$) i entre pes fresc i % pes sec ($r=-0,794$) (fig. 6, 7 i 8).

La relació dels pigments en les seves tres expressions (pigments per litre d'extret, o/oo en pes sec i pigments per superfície de parcel·la) amb la producció és també manifesta, excepte per o/oo en pes sec, segons es desprèn de la taula següent:

TAULA III

Clorofilla a mg/l	— 0,684	— 0,716	0,601
Carotinoides MSPU/l	— 0,771	— 0,784	0,648
Clorofilla a ‰ en p.s.	0,434	0,383	— 0,704
Carotinoides ‰ en p.s.	0,182	0,138	— 0,548
Clorofilla a g/2 m ²	0,992	0,983	— 0,836
Carotinoides SPU/2 m ²	0,990	0,985	— 0,843

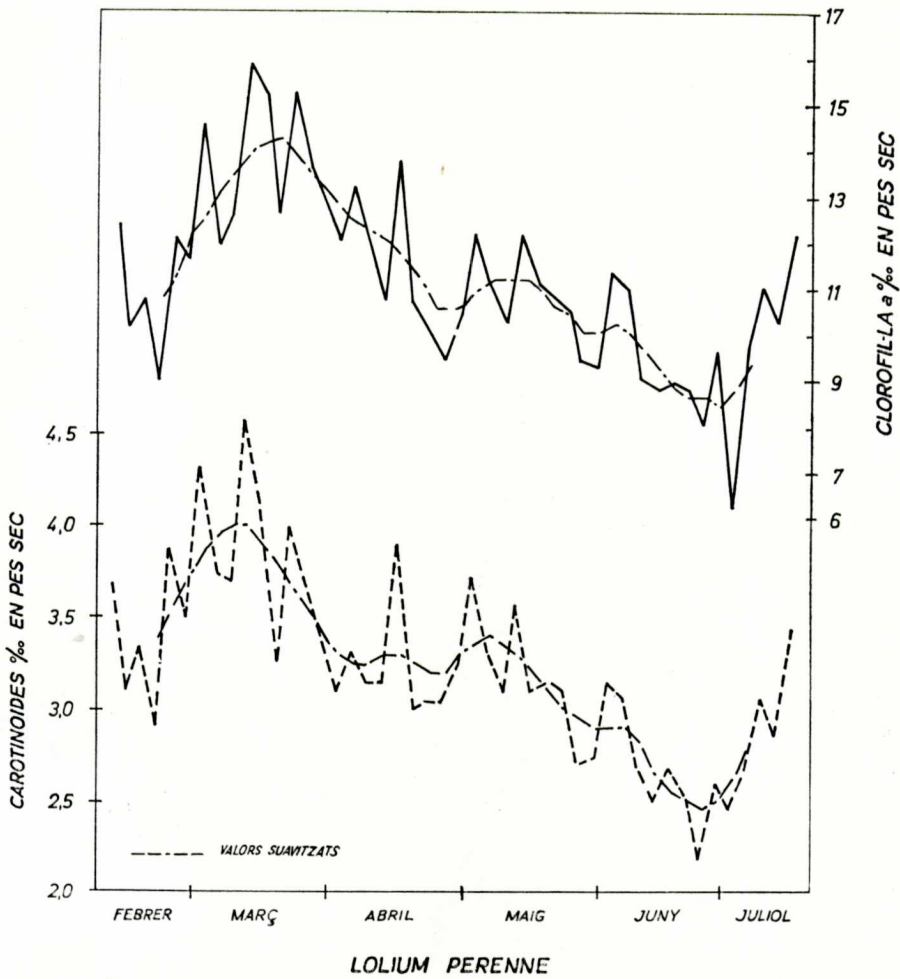


FIG. 4

D'aquesta taula es desprèn que les dades de pigments que proporcionen millor informació respecte a la producció en un moment determinat són les corresponents a quantitat de pigments per superfície de parcel·la, per la qual cosa, i per tal de poder aproximar al màxim llur estimació, hem procedit al càlcul de l'equació de la superfície de regressió de la producció sobre els pigments, clorofil·la *a* i carotinoïdes, i del corresponent coeficient de correlació múltiple.

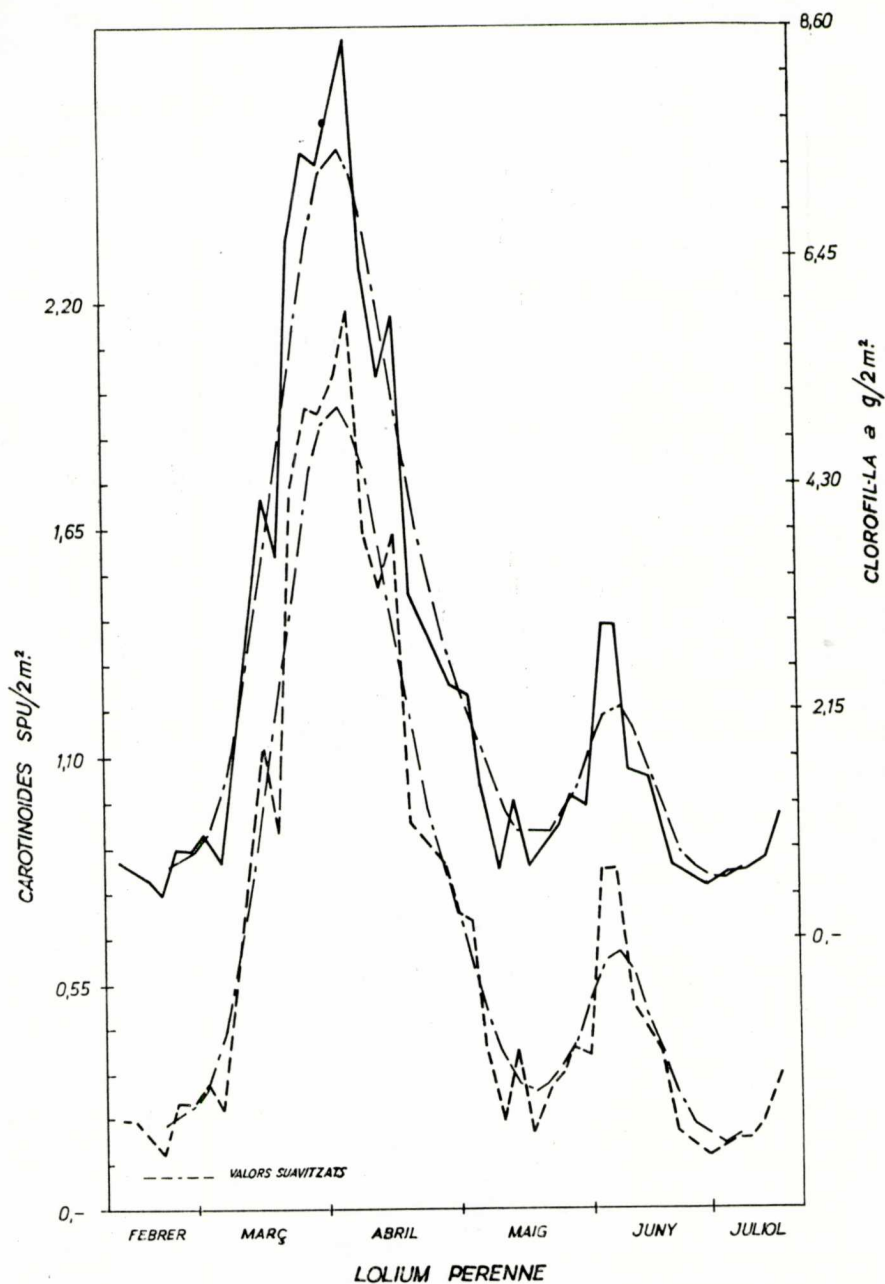


FIG. 5

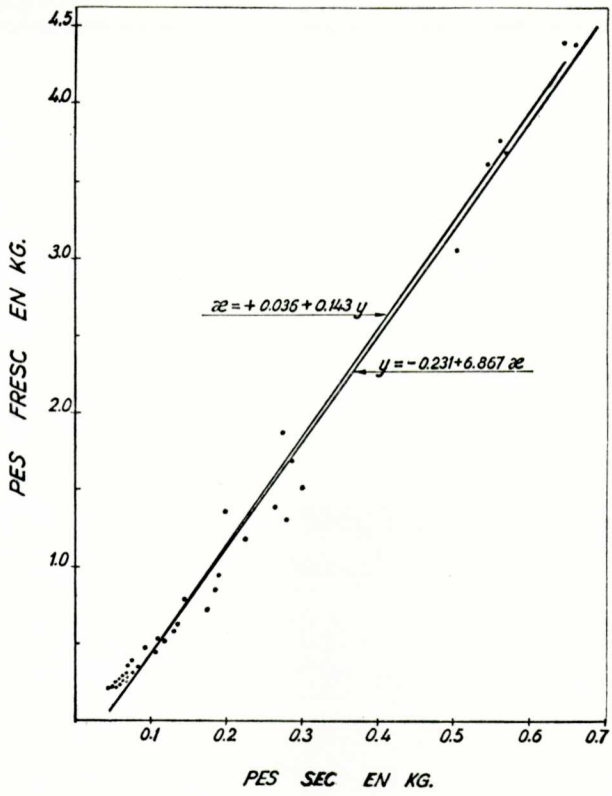


FIG. 6

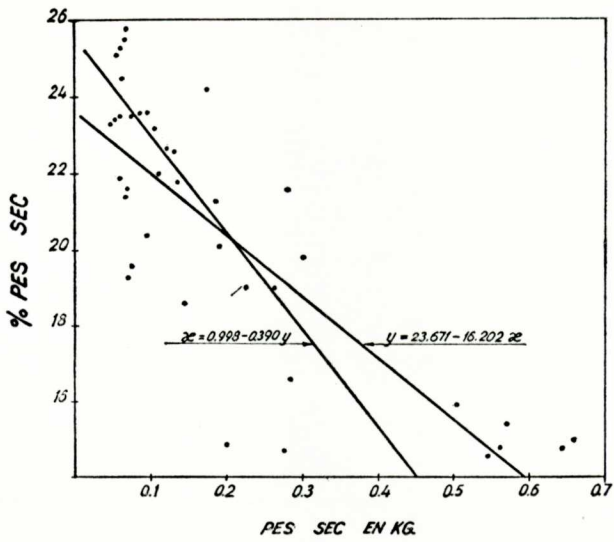


FIG. 7

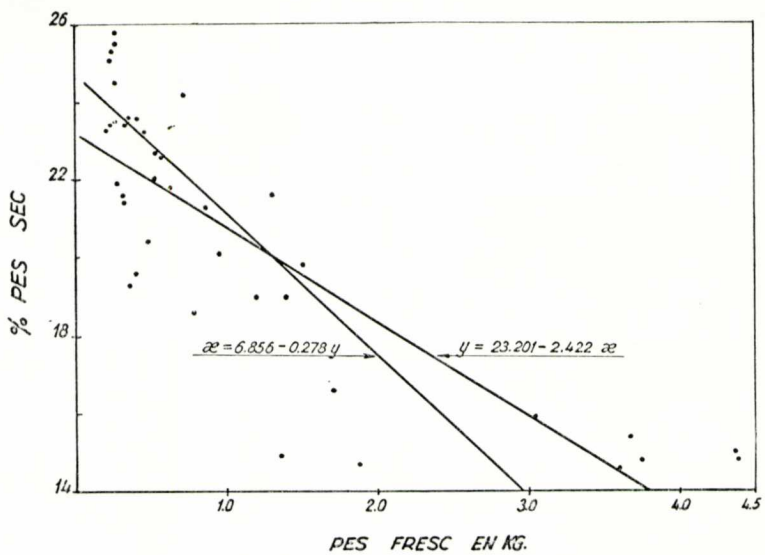


FIG. 8

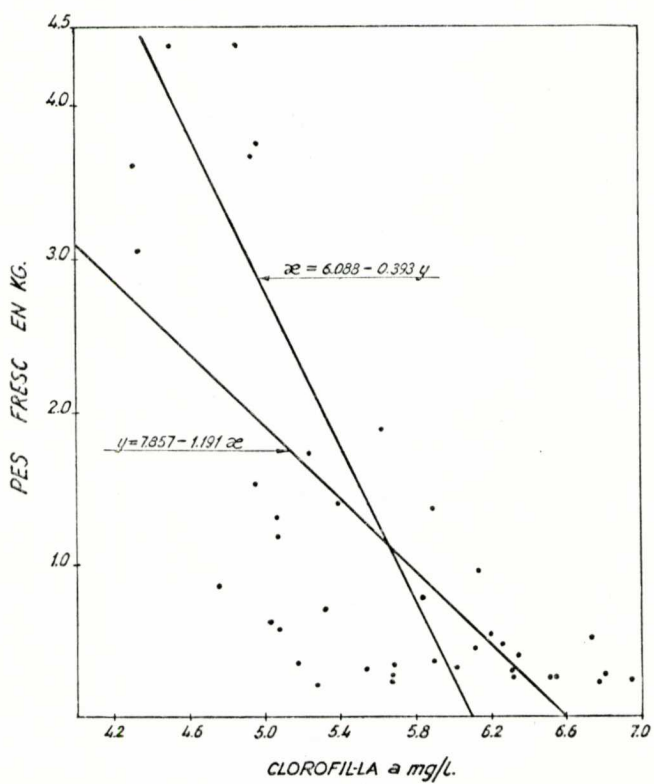


FIG. 9

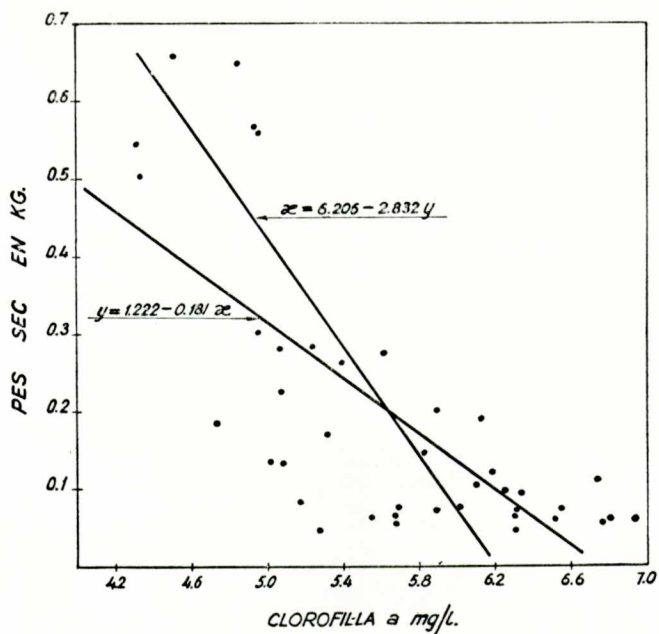


FIG. 10

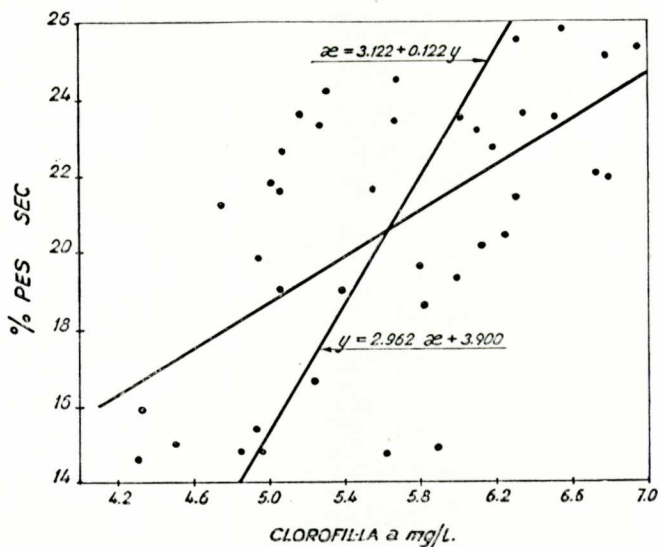


FIG. 11

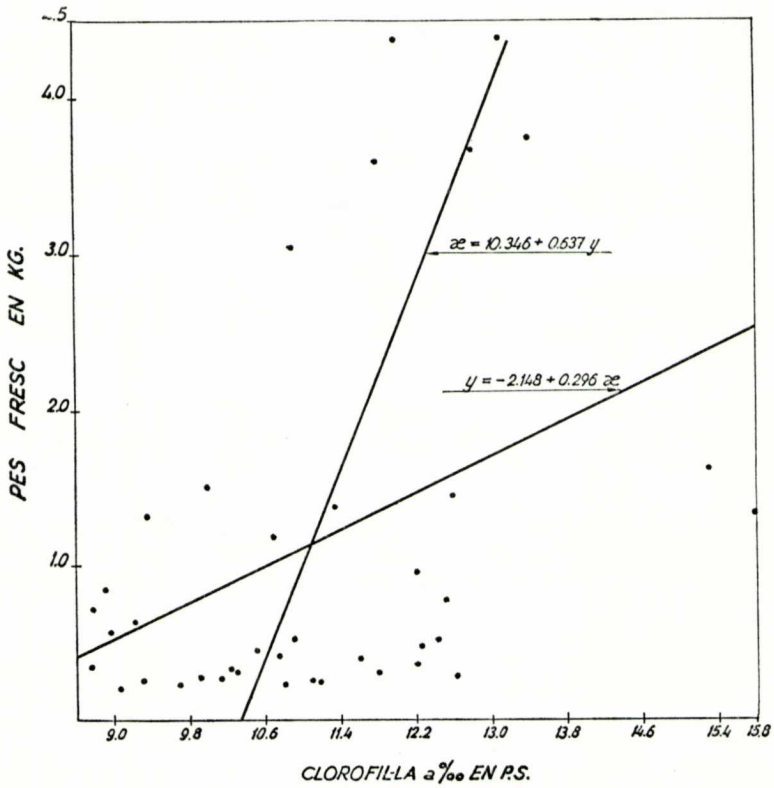


FIG. 12

- (1) Clorofil·la *a* i carotinoides — pes fresc
 (g/m²) (SPU/m²) (kg/m²)
 $y = -0,06 + 0,534x_1 + 0,023x_2$
 $r = 0,817$
- (2) Clorofil·la *a* i carotinoides — pes sec
 (g/m²) (SPU/m²) (kg/m²)
 $y = -0,006x_1 + 0,325x_2$
 $r = 0,897$
- (3) Clorofil·la *a* i carotinoides — % pes sec
 (g/m²) (SPU/m²)
 $y = 24,13 + 3,249x_1 - 22,535x_2$
 $r = 0,991$

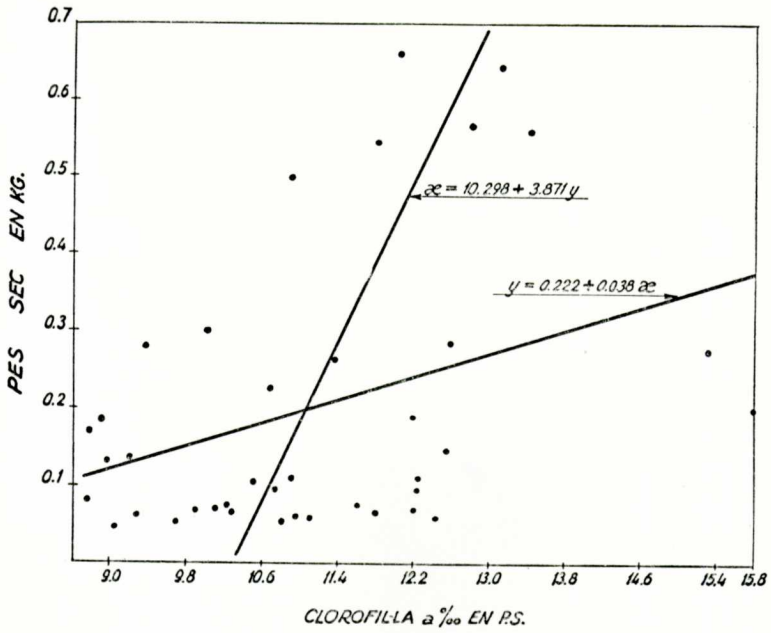


FIG. 13

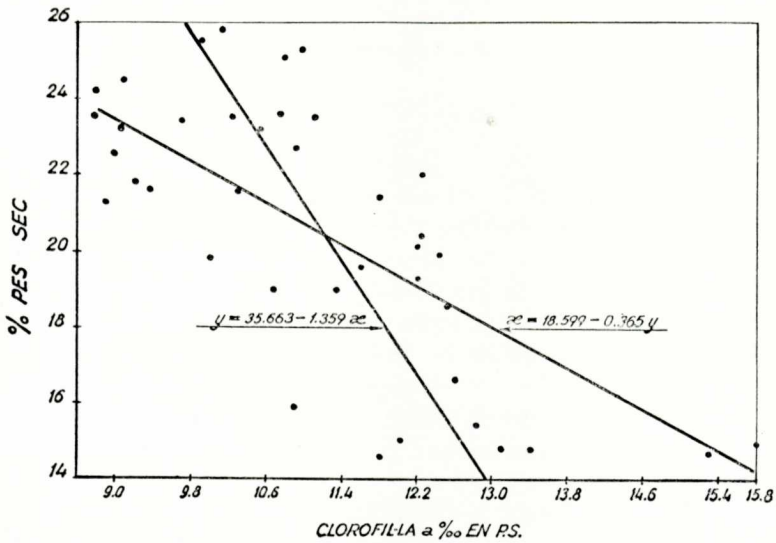


FIG. 14

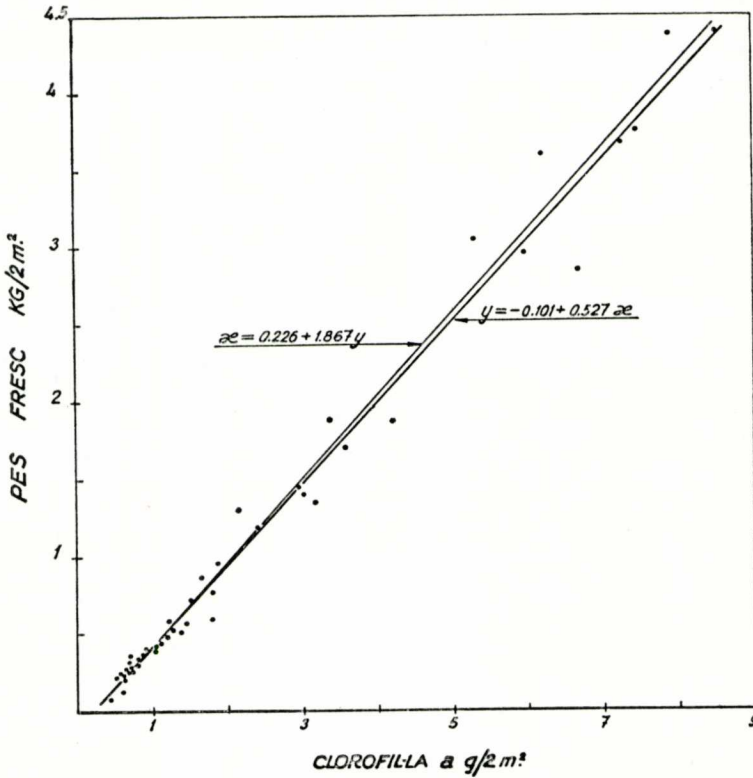


FIG. 15

Una vegada demostrada la relació íntima existent entre la quantitat de pigments produïts per superfície de parcel·la i llur producció i després que CABALLERO^{6, 7} demostrà l'existència d'unes fluctuacions periòdiques (lunars i supralunars) en la producció de gramínies pratenses i concretament en l'espècie objecte d'aquest treball, hem passat a comprovar la presència d'aquests ritmes en la producció dels pigments.

Amb aquest fi, les sèries cronològiques dels valors mitjans han estat sotmeses a una anàlisi d'autocorrelació; els resultats són poc significatius, probablement per les diferències que presenta la producció dels pigments durant el període estudiat.

Per tal de superar aquesta dificultat, ha estat emprada la mateixa tècnica d'autocorrelació en els increments de la desviació de la producció dels pigments respecte al suavitzat triple (fig. 18 i 19).

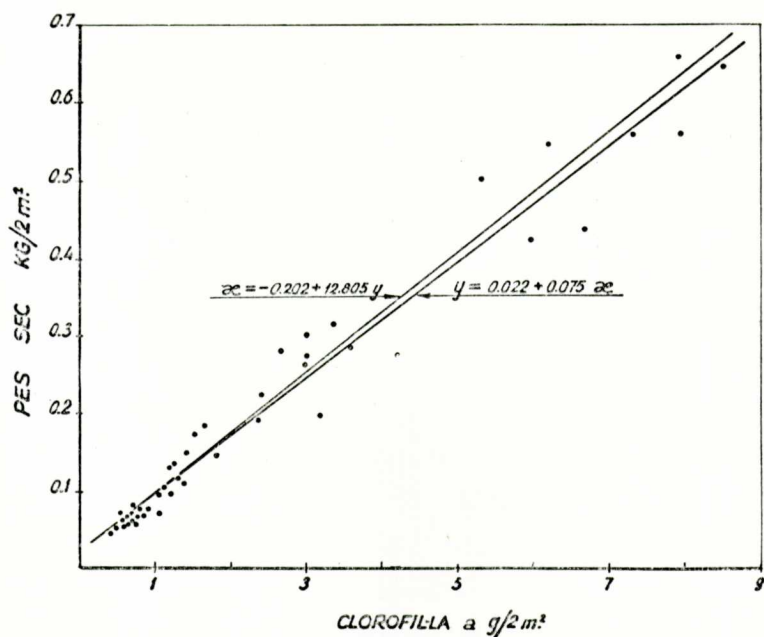


FIG. 16

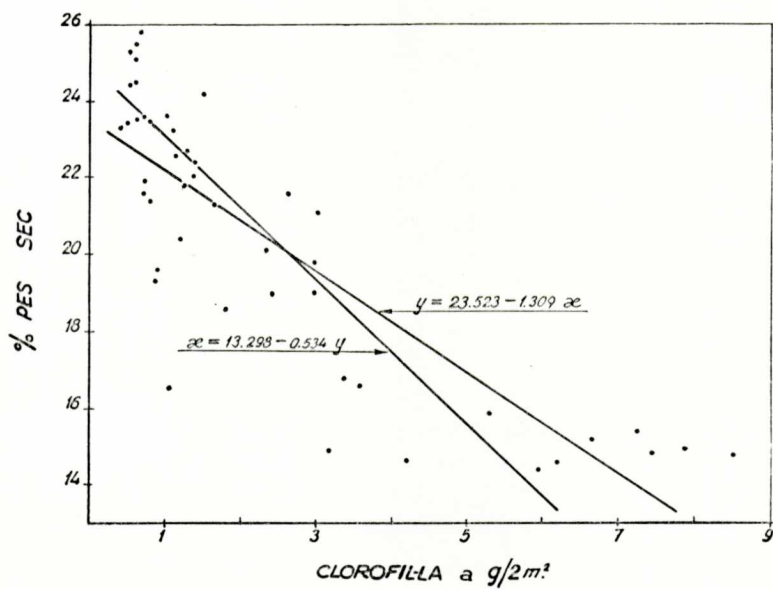


FIG. 17

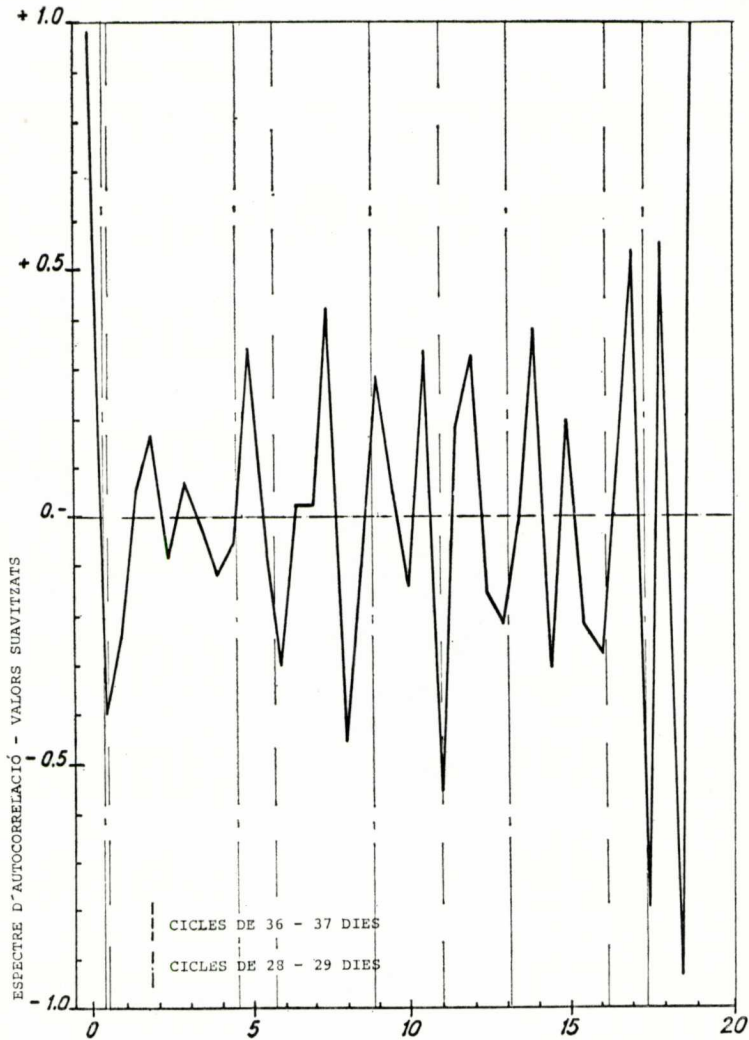


FIG. 18

Els resultats d'aquesta anàlisi són positius, puix que apareixen ritmes de diversa freqüència, el més accentuat dels quals és el corresponent a períodes de 36-37 dies, sobre el qual cavalca el lunar (29,56 dies), bé que amb menys intensitat, possiblement perquè el primer té una influència dominant.

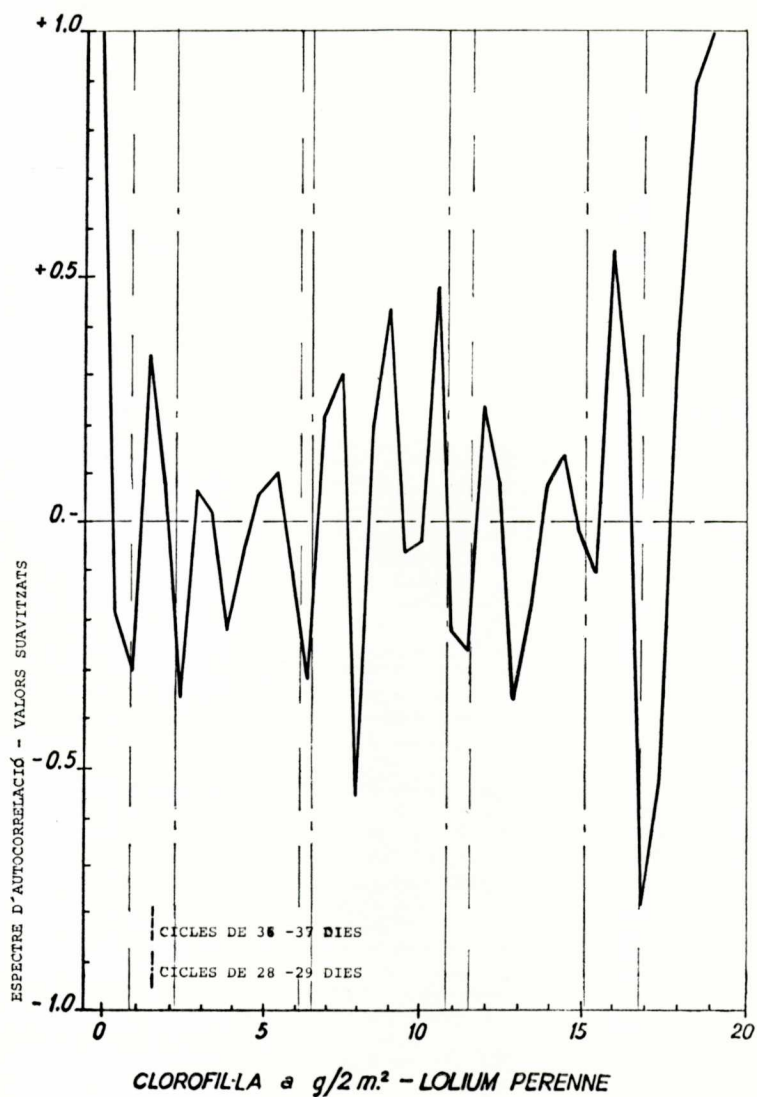


FIG. 19

Bé que sembla provada l'existència d'aquests components periòdics, considerem que, per a arribar a establir exactament llur amplitud i la interacció dels uns sobre els altres, cal obtenir-ne sèries cronològiques d'un mínim de 4 o 5 anys.

BIBLIOGRAFIA

1. BAVRINA, T. V. — *Diurnal dynamics of chlorophyll content in plant leaves.* «Fisiologiya Rastenii», 6 (2), 221-225 (1959). Translatio by Amer. Inst. Biol. Sci.
2. BRAY, J. R. — *The primary productivity of vegetation in central Minnesota, U.S.A. and its relationship to chlorophyll content and albedo.* *Die Stoffproduktion der Pflanzendecke.* H. Lieth ed. Fischer. Verlag. Stuttgart, 102-109 (1960).
3. BRAY, J. R. — *The chlorophyll content of some native and managed plant communities in central Minnesota.* «Canad. J. Bot.», 38 (3), 313-333 (1960).
4. BROUGHAM, R. W. — *The relationship between the critical leaf area, total chlorophyll content and maximum growthrate of some pasture and crop plant.* «Annals of Botany (London)», 24, 463-474 (1960).
5. BUKATCH, F. — *The variation of the content of the green pigment in the leaves of alpine plants during the course of the day.* «Z. ges. Naturwiss.», 5, 263-272 (1939).
6. CABALLERO, A., i col·laboradors. — *Ritmos en el crecimiento y en la producción de gramíneas pratenses.* «Collect. Bot.», VII, 117-149 (1968).
7. CABALLERO, A. — *Ritmos de periodo largo en el crecimiento de las plantas.* «Mem. Real. Acad. Ciencias y Artes, Barcelona», XXXIX (6), 1-52 (1969).
8. DOTY, M. S., i M. OGURI. — *Evidence for a photosynthetic daily periodicity.* «Limno. and Oceanograf.», 2, 37-40 (1957).
9. GIBOR, A., i W. R. MEEHAN. — *Diurnal variations in chlorophyll a content of some freshwater algae.* «Ecology», 42, 156-157 (1961).
10. LIETH, H. H. — *Indirect methods of measurement of dry matter production.* Methodology of plan ecophysiology. UNESCO, 1965.
11. MARGALEF, R. — *Consideraciones sobre la determinación cuantitativa del fitoplancton por la valoración de pigmentos solubles y los factores que afectan a la relación entre cantidad de pigmento y peso seco.* «Publics. Inst. Biol. Apli. Barcelona», 16, 71-84 (1954).
12. MARGALEF, R. — *Pigmentos asimiladores extraídos de las colonias de celentéreos de los arrecifes de coral y su significado ecológico.* «Inv. Pesq.», 15, 81-102 (1959).
13. MARGALEF, R. — *Valeur indicatrice de la composition des pigments de phytoplancton sur la productivité, composition taxonomique et propriétés dynamiques des populations.* «Rapp. et proc. verb. des réun. C.I.E.S.M.», XV (2), 277-281 (1960).
14. MEDINA, E., i H. LIETH. — *Contenido de clorofila de algunas asociaciones vegetales de Europa Central y su relación con la productividad.* «Qual. Plant. et Mat. Végét.», IX, 217-229 (1963).
15. OVINGTON, J. D., i D. B. LAWRENCE. — *Comparative chlorophyll and energy studies of prairie, savanna, oakwood and maize field ecosystems.* «Ecology», 48, 515-524 (1967).
16. RAPPE, G. — *Seasonal variations in the rate of pasture regrowth after grazing.* «Plant and Soil», 4, 309-338 (1951).
17. RAPPE, G. — *Yearly rhythm in production capacity of gramineous plants. A I. Experiments in plots in the field.* «Oikos», 14, 1, 44-84 (1963).
18. RAPPE, G. — *A yearly rhythm in production capacity of gramineous plants. A II. Experiments in field plots.* «Oikos», 14, 2, 224-236 (1963).
19. RICHARDS, F. A., i T. G. THOMPSON. — *The estimation and characterization of plankton populations by pigments analysis. II A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments.* «J. Mar. Res.», 11, 156-172 (1952).
20. RIGAU, M. C. — *Correlaciones de los pigmentos foliares con el crecimiento y la producción. I Técnica seleccionada para la determinación de pigmentos.* «Public. Inst. Biol. Aplic.», 41, 69-87 (1966).

21. RYTHER, J. H. — *The measurement of primary production*. «Limnol. and Oceanogr.», 1 (1), 72-84 (1956).
22. SEOANE, J. — *Estudios sobre las algas bentónicas en la costa sur de la Península Ibérica*. «Inv. Pesq.», XXIV (1965).
23. STRICKLAND, J. D. R., i T. R. PARSON. — *A manual of sea water analysis*. «Bull. Fish. Res. Bd. Canada», 122 (1960).
24. YENTSCH, C. S., i J. H. RYTHER. — *Short-term variations in phytoplankton chlorophyll and their significance*. «Limnol. and Oceanogr.», 2, 140-142 (1957).
25. YULE, G. U., i M. G. KENDALL. — *Introducción a la estadística matemática*. Ed. Aguilar, 648-655 (1967).