TESIS DOCTORAL

DISTRIBUCION Y DINAMICA DEL FITOPLANCTON DEL ESTUARIO DEL RIO PAS (CANTABRIA)

Biblioteca Universitaria de Granada
01533644

M. LUISA PEREZ GARCIA

Esta Memoria de Tesis se leyò el 2 de Junio de 1987,
el Tribunal que la juzgò estuvo constituido por :

Presidente: Marta Estrada

Secretario: Pedro Sanchez Castillo

Vocales : Luis Cruz Pizarro

Josè Revilla Cortezòn

Ted Packard

La calificaciòn obtenida fue Apto cum laudem.

Granada 4 de Junio de 1987

BIBLIOTECA
FACULTAD DE CIENCIAS
GRANADA
Estante 15
Tabla
Núm. 85

UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Núm. 1159

DON JUAN DE DIOS PEREZ JIMENEZ; PROFESOR Y SECRETARIO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA.-

C E R T I F I C O: Que la presente Tesis Doctoral corresponde a la presentada en esta Facultad por Dª Mª Luisa Perez Garcia y que fue calificada con APTO "CUM LAUDE" el dia 2 de Junio de 1987 por el Tribunal correspondiente, y que fue aprobado en Comisión de Doctorado el dia 20 de Mayo de 1.987, siendo el titulo de la Tesis: "Distribución y dinamica del fitoplancton del estuario del Rio Pas (Cantabria)".

Y para que conste expido la presente certificación con el Vº.Bº. del Iltmo. Sr. Decano en Granada a diez de Junio de mil novecientos ochenta y siete.-

Vº.Bº.
EL DECANO;

R. 33.052

T
13
44

TITULO

DISTRIBUCION Y DINAMICA DEL FITOPLANCTON DEL ESTUARIO DEL RIO PAS (CANTABRIA)

AUTOR: María Luisa Pérez García

UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE CIENCIAS
SALIDA Núm. 1159
Fecha 30 JUN. 1987

Memoria presentada para optar al Grado de Doctor en Biología por la Universidad de Granada.

Dña. Mª Luisa Pérez García

GRANADA, ABRIL DE 1987

DIRECTORES

V°B°

R. Martínez

Prof. Dr. Rosa Martínez Silvestre

V°B°

J. C. Canteras

Prof. Dr. J. C. Canteras Jordana

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
GRANADA
Nº Documento D19647244
Nº Copia 121190355

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

TESIS REALIZADA EN LA ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE

INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.

A mis padres

A mis padres

AGRADECIMIENTOS

No sería justo presentar esta investigación sin mencionar a aquéllas personas e instituciones sin las cuales dicho estudio hubiera quedado en una simple hipótesis de trabajo. El ánimo y la ayuda material de todos cuantos me dispongo a destacar me han permitido adentrarme en el mundo de la Ciencia, conocer sus dificultades pero, ante todo, apasionarme por ella.

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a los profesores Rosa Martinez y Juan C. Canteras, directores de este trabajo, los que además de maestros han sabido ser en todo momento amigos y compañeros.

Al Dr. Agustin Ascorbe y a Jesús de Paz quienes perdieron gran parte de su tiempo en el tratamiento de los datos en el ordenador.

Al Dr. Miguel Alvarez Cobelas quien además de sus consejos científicos animó e hizo posible que en un momento determinado el trabajo siguiera adelante.

Lineque fue compañera de trabajo en el campo y en el laboratorio.

El Dr. Luis Cruz Pizarro proporcionó en todo momento el apoyo e información para que esta Tesis pudiera ser leida en la Universidad de Granada.

En cuanto a Instituciones: la Diputación Regional de Cantabria cedió sus locales cercanos al lugar de estudio. El Instituto Español de Oceanografía de Santander permitió la utilización de su Biblioteca, de la cual se obtuvo la mayor parte de la bibliografia utilizada. El Departamento de Bioquímica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Cantabria puso a nuestra disposición el medidor de Centelleo Liquido.

Una mención especial merece la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria y en este caso más que a la Institución a todas las personas que trabajan en ella, quienes en todo momento estuvieron conmigo poniendo a mi disposición todo cuanto necesité.

Por último, una gran cantidad de amigos que me soportaron y alentaron: Rosa, Chari, Elena, Maribel, Fernando, Paloma.....

INDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCION 1
1.1.- ESTUARIOS 1
1.1.1.- Estuarios de Cantabria. 2

CAPITULO 2: OBJETIVOS 5

CAPITULO 3: MATERIAL Y METODOS 12
3.1.- ZONA DE ESTUDIO 12
3.1.1.- Funcionamiento general de la ría. 13
3.1.2.- Mareas. 14
3.1.3.- Geología. 14
3.1.4.- Meteorología. 17
3.1.5.- Régimen del río Pas. 26
3.2.- MUESTREO 26
3.2.1.- Recogida de las muestras. 31
3.2.1 .1.- Muestras para el estudio del ciclo mareal. 31
3.2.1.2.- Muestras para la determinación de la producción primaria. 34
3.3.- METODOS 37
3.3.1.- Métodos analíticos. 37
3.3.1.1.- Determinación de la salinidad. 37
3.3.1.2.- Cálculo de la densidad. 37
3.3.1.3.- Transparencia del agua. 38
3.3.1.4.- Análisis de nutrientes. 38
3.3.1.5.- Determinación de los pigmentos fotosintéticos. 38
3.3.1.6.- Determinación del carbono asimilado (producción primaria). 40
3.3.1.7.- Identificación y recuento de células de fitoplancton. 41
3.3.1.8.- Indices de estructura de la comunidad de fitoplancton. 42
3.3.2.- Métodos estadísticos. 43

CAPITULO 4: ESTUDIO DEL MEDIO 48
4.1.- SALINIDAD. 48
4.1.1.- Variación estacional. 48
4.1.2.- Variación espacial. 50
4.1.3.- Variación con la profundidad. 56
4.2.- TEMPERATURA. 60
4.3.- DIAGRAMAS T-S. 66

4.4.- DENSIDAD (σ_T). 70
4.5.- LUZ. 70
4.6.- ALCALINIDAD y pH. 74
4.7.- OXIGENO DISUELTO. 78
4.8.- NUTRIENTES. 95
4.8.1.- Nitratos. 95
4.8.2.- Nitritos. 97
4.8.3.- Amonio. 97
4.8.4.- Fosfatos. 103
4.8.5.- Relación N:P. 105
4.8.6.- Silicatos. 105
4.8.7.- Análisis de la varianza de los nutrientes. 109
4.9.- ESTUDIO DE LAS RELACIONES ENTRE LOS DIVERSOS PARAMETROS MEDIDOS. 120
4.9.1.- Correlación entre variables físicas y químicas. 120
4.9.2.- Principales tendencias de variación en la ría de Mogro. 129
4.9.2.1.- Análisis de componentes principales. 130
4.9.2.2.- Resumen. 137
4.9.3.- Principales tendencias de variación en cada estación. 141
4.9.3.1.- Estación 3. 141
4.9.3.2.- Estación 2. 147
4.9.3.3.- Estación 1. 151
4.9.3.4.- Resumen. 155

CAPITULO 5: ESTUDIO DEL FITOPLANCTON 158
5.1.- DISTRIBUCIONES DE LAS ABUNDANCIAS TOTALES Y DE LOS GRANDES GRUPOS EN LA RIA DE MOGRO: febrero a diciembre de 1985. 159
5.1.1.- Distribución de la abundancia total. 159
5.1.2.- Ciclo anual. 160
5.2.- CLOROFILA A 182
5.3.- PRODUCCION PRIMARIA. 187
5.4.- PRODUCCION POR UNIDAD DE CLOROFILA. 195
5.4.1.- Relación nutrientes-índice de asimilación. 202
5.4.2.- Relación temperatura-índice de asimilación. 202
5.5.- INDICE DE MARGALEF (D_{430}/D_{665}). 205
5.6.- INDICE DE DIATOMEAS/DIATOMEAS + DINOFLAGELADAS. 205
5.7.- DIVERSIDAD Y UNIFORMIDAD. 210
5.8.- CORRELACIONES ENTRE VARIABLES BIOLOGICAS. 215
5.9.- ANALISIS MULTIVARIANTE. 219
5.9.1.- Principales tendencias de variación en la ría de Mogro. 219

5.9.2.- Principales tendencias de variación en cada estación. 223
5.9.2.1.- Estación 3. 223
5.9.2.2.- Estación 2. 227
5.9.2.3.- Estación 1. 227
5.9.2.4.- Resumen. 234
5.10.- CORRELACIONES ENTRE PARAMETROS FISICOS, QUIMICOS Y BIOLOGICOS. 235
5.11.- ANALISIS MULTIVARIANTE APLICADO A LAS ESPECIES DE FITOPLANCTON. 240
5.11.1.- Asociaciones de especies y ubicación en el espacio de las componentes. 251

CAPITULO 6: DISCUSION 254
6.1.- HIDROGRAFIA Y NUTRIENTES. 254
6.2.- SUCESION ANUAL DEL FITOPLANCTON. 260
6.3.- CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES BIOLOGICAS. 262
6.4.- INFLUENCIA DE LAS MAREAS EN LA COMUNIDAD DE FITOPLANCTON. RITMO MAREAL. 264
6.5.- EVOLUCION ANUAL DE LA PRODUCCION. 264
6.6.- HETEROGENEIDAD ESPACIAL EN LA RIA. 269

CAPITULO 7: RESUMEN Y CONCLUSIONES 272

BIBLIOGRAFIA 275

FE DE ERRATAS

Pag. 34 : mensual por quincenal

Pag. 50 : % por %o

Pag. 157: E-3, E-2, E-3 por E-3, E-2, E-1

Pags 150 y 160 : Critoficeas por Criptoficeas

Pag. 190: mg C m^2/h por mg C/m^2/h

Pag. 259: El análisis de componentes principales, realizado sobre las variables fisicas y quimicas, interpretamos como segunda tendencia de variación en la ria la nitrificación. Según dicho análisis, las estaciones que presentarian mayor nitrificación serian las interiores (E-2 y E-3); éstas a su vez presentaron mayor turbidez.

Pag. 260: Cryptoficeas por Criptoficeas.

Pag. 271: ensanchamiento del agua por ensanchamiento del cauce.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.- INTRODUCCION

1.1.- ESTUARIOS

Los estuarios se encuentran entre los subsistemas de mayor interés del litoral.

PRITCHARD (1967) los define como "extensiones de agua costera semicerrada que tienen una comunicación libre con el alta mar; resultan, pues, fuertemente afectados por la actividad de las mareas y en ellos se mezcla el agua de mar (se diluye por lo regular en forma mensurable) con agua dulce del drenaje terrestre".

Los estuarios son ecosistemas de transición -ecotonos- que gozan de unas características muy peculiares y consiguen un buen equilibrio entre los componentes físicos y bióticos. Una corriente subsidiaria de energía -procedente de la actividad mareal- y unos gradientes dinámicos de salinidad (tanto en sentido longitudinal como vertical) hacen que se conjuguen en estos sistemas biológicos dos propiedades que difícilmente se dan en otros tipos de ecosistemas: una alta productividad y una diversidad específica considerable.

En un ambiente de estas características, las comunidades de estuarios están compuestas de una mezcla de especies endémicas (exclusivas de los estuarios) y de otras procedentes del mar. Una característica adaptativa a estos medios, modelada por la evolución, de las especies que viven en los estuarios, es la de disponer de una alta capacidad osmorreguladora.

Los estuarios figuran, conjuntamente con la pluvisilva tropical y los arrecifes de coral, como ecosistemas naturalmente productivos. Las razones de esta alta productividad se pueden resumir en los siguientes puntos (ODUM, 1972; SCHELSKE y ODUM, 1961):

1.- La acción de la marea contribuye a crear un ecosistema de nivel de agua fluctuante. El movimiento fluctuante del agua realiza una gran cantidad de trabajo, alejando y transportando elementos nutritivos.

2.- El agua de río contiene fertilizantes arrastrados de la tierra, básicos para posibilitar una productividad elevada. Sin embargo, RILEY (1971) da más importancia a los elementos nutricionales del mar y aporta como prueba el hecho -cierto- de que los estuarios de río son

a menudo menos productivos que las bahías. La inestabilidad generada por los movimientos y mezclas de agua en los primeros podría ser la causa de ello.

3.- El estuario funciona como trampa nutricia, en parte física y en parte biológica.

4.- Los estuarios se benefician de una gran diversidad de tipos de productores.

Los estuarios han sido considerados por el hombre como "materiales utilizables" es decir, como recursos naturales.

La gran versatilidad de estos ecosistemas ha hecho que sean aprovechados para distintos fines, sin embargo, su alta productividad potencial no siempre ha sido debidamente aprovechada por el hombre quien, a menudo, ha clasificado los estuarios como áreas desprovistas de valor. En consecuencia, se les ha utilizado para verter en ellos materiales de desecho, como plantas depuradoras naturales.

La calidad ambiental de estos espacios ha hecho que se les utilice con fines estéticos y recreativos, como zonas apropiadas para construcción de urbanizaciones y explotación turística.

No obstante, uno de los peores usos que el hombre ha hecho -y continúa haciendo- de los estuarios es el de rellenarlos con fines diversos: obtención de tierras para cultivo agrícola, obtención de espacio urbanizable o industrial, o la construcción de muros de contención que privan al sistema dinámico mareal de la fuente subsidiaria de energía (ALLEN, 1964; ODUM, 1970; CENDRERO, 1977, MARTINEZ 1984).

1.1.1.- **Estuarios de Cantabria**

Cantabria (figura 1.1) cuenta con una franja costera de 279 kilómetros, de los cuales aproximadamente 52 corresponden a estuarios. En su mayoría, provienen de las inundaciones por el mar de los cursos más bajos de los valles fluviales. Estos son los casos de Tina Menor, Tina Mayor, Ría de San Vicente o Ría de Suances, entre otros. En otras ocasiones, el mar invade zonas costeras llanas, como es el caso de las marismas de Quejo y Noja.

a menudo menos productivos que las bahías. La inestabilidad generada por los movimientos y mezclas de agua en los primeros podría ser la causa de ello.

3.- El estuario funciona como trampa nutricia, en parte física y en parte biológica.

4.- Los estuarios se benefician de una gran diversidad de tipos de productores.

Los estuarios han sido considerados por el hombre como "materiales utilizables" es decir, como recursos naturales.

La gran versatilidad de estos ecosistemas ha hecho que sean aprovechados para distintos fines, sin embargo, su alta productividad potencial no siempre ha sido debidamente aprovechada por el hombre quien, a menudo, ha clasificado los estuarios como áreas desprovistas de valor. En consecuencia, se les ha utilizado para verter en ellos materiales de desecho, como plantas depuradoras naturales.

La calidad ambiental de estos espacios ha hecho que se les utilice con fines estéticos y recreativos, como zonas apropiadas para construcción de urbanizaciones y explotación turística.

No obstante, uno de los peores usos que el hombre ha hecho -y continúa haciendo- de los estuarios es el de rellenarlos con fines diversos: obtención de tierras para cultivo agrícola, obtención de espacio urbanizable o industrial, o la construcción de muros de contención que privan al sistema dinámico mareal de la fuente subsidiaria de energía (ALLEN, 1964; ODUM, 1970; CENDRERO, 1977, MARTINEZ 1984).

1.1.1.- **Estuarios de Cantabria**

Cantabria (figura 1.1) cuenta con una franja costera de 279 kilómetros, de los cuales aproximadamente 52 corresponden a estuarios. En su mayoría, provienen de las inundaciones por el mar de los cursos más bajos de los valles fluviales. Estos son los casos de Tina Menor, Tina Mayor, Ría de San Vicente o Ría de Suances, entre otros. En otras ocasiones, el mar invade zonas costeras llanas, como es el caso de las marismas de Quejo y Noja.

La configuración general del litoral es rectilínea, debido al paralelismo que guarda con las estructuras geológicas, pliegues y fallas, de dirección E-O. En su mayor parte es abrupta, con importantes acantilados y desplomes. Esto conlleva que el intercambio de nutrientes entre las tierras emergidas y la plataforma litoral se realice casi exclusivamente a través de las bahías y estuarios.

La presión humana sobre los estuarios de Cantabria es muy fuerte en algunos casos: bahías de Santander y Santoña, marismas de Noja y Berria; pero afortunadamente, en otros estuarios es relativamente escasa: Tina Menor, Tina Mayor, Oriñón, Mogro.

Hay que destacar la importancia que tienen los estuarios, en general, y en particular los de Cantabria, en relación con el valor paisajístico (en una región donde el sector turístico alcanza un peso de primer orden como generador de ingresos), así como el alto valor científico y educativo de estas zonas.

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

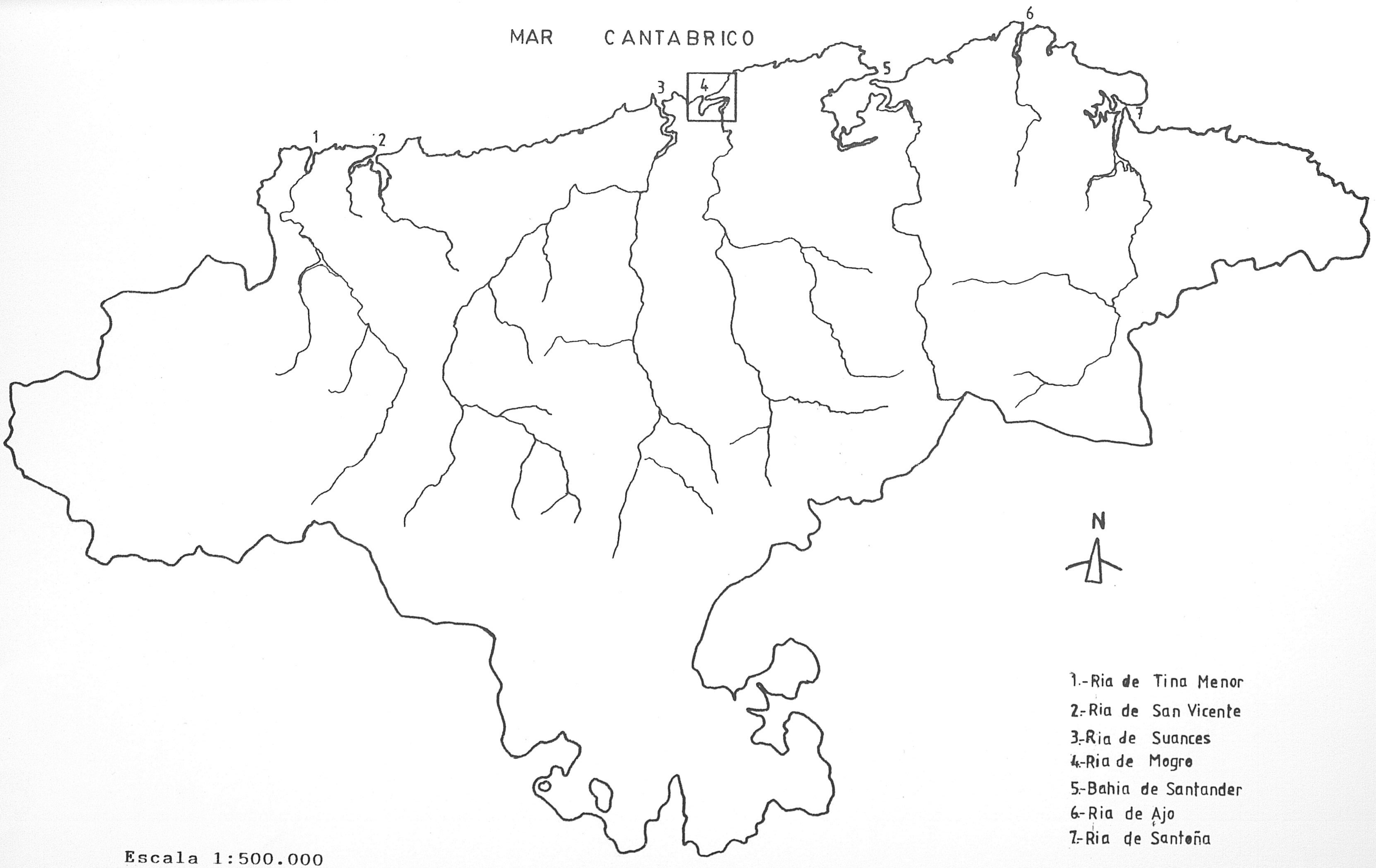


Figura 1.1. Mapa de Cantabria. En el recuadro se indica la localizacion de la Ría de Mogro.

CAPITULO 2

OBJETIVOS

2.- OBJETIVOS

En el litoral cantábrico, se cuenta con diversas investigaciones oceanográficas (TRAVERS y TRAVERS, 1969; TREGUER et al., 1979; FLOS, 1979, 1982, 1985; ARIAS et al., 1980; ALCARAZ, 1981; ESTRADA, 1982a), todas ellas en aguas litorales de la costa Guipuzcoana.

El conocimiento de la estructura y dinámica de los estuarios ha sido abordado desde diferentes perspectivas en distintas regiones del mundo por numerosos investigadores. DEVINE (1983) proporciona una revisión de los principales y más completos estudios realizados con sus aportaciones más importantes.

En las rías y estuarios cercanos, se han realizado diferentes estudios sobre hidrografía y fitoplancton (REGUERA, 1982; ORIVE et al. 1984; ELOSEGUI et al. 1987; URRUTIA, 1986) y zooplancton (VILLATE, 1984).

En Cantabria, las rías y estuarios están escasamente estudiados y falta una documentación base para emprender estudios de carácter intensivo sobre la ecología de estos sistemas.

Esta Memoria se centró en el estuario del río Pas (ría de Mogro) (Figura 2.1), y constituye un primer estudio, extensivo, de la composición y dinámica de la comunidad de fitoplancton, en relación con los siguientes factores:

a) -Gradiente salino.
b) -Ciclo de mareas.
c)- Ciclo anual

Los objetivos concretos fueron:

1. Estudio de las características físicas y químicas del estuario. Esto permitió el conocimiento de las distribuciones horizontal y vertical de la salnidad, temperatura, concentración de oxígeno disuelto, etc... que hizo posible la tipología del estuario.

2. Conocimiento de las concentraciones y dinámica de los nutrientes: nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, silicatos.

3. Determinación de la biomasa de las comunidades de fitoplancton y determiandión de la alternancia sucesional de dichas comunidades.

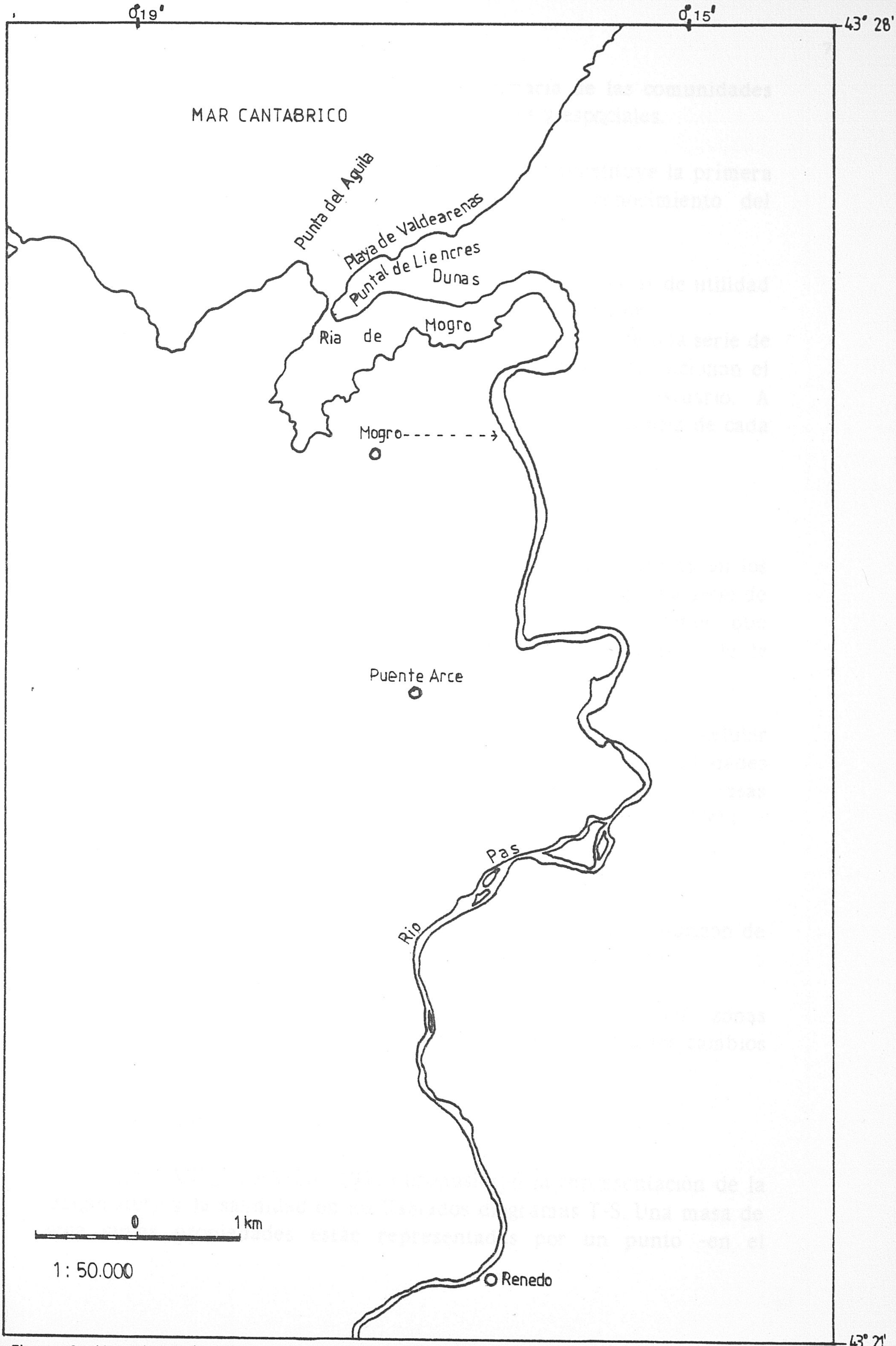


Figura 2.1. Mapa de la Ria de Mogro.

4. Estimación de la productividad primaria de las comunidades de fitoplancton, variaciones temporales y espaciales.

El tratamiento conjunto de dichos factores constituye la primera aportación, en la Región de Cantabria, para el conocimiento del funcionamiento de sus estuarios.

Esta Memoria aporta una serie de datos y referencias de utilidad tanto para posteriores estudios científicos como de aplicación.

Los objetivos propuestos suponen el conocimiento de una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos, que definen y condicionan el funcionamiento de la comunidad de fitoplancton del estuario. A continuación se enumera y comenta brevemente la importancia de cada uno de ellos, que justifica su inclusión en este estudio.

Salinidad

El ambiente estuárico está sujeto a fuertes fluctuaciones en los niveles de salinidad. Los organismos planctónicos presentan una serie de movimientos hacia el interior y exterior del estuario teniendo que soportar importantes cambios de salinidad como consecuencia de la marea y corrientes.

El fitoplancton posee mecanismos de osmorregulación celular (GUILLARD, 1962). Las variaciones de salinidad afectan a actividades celulares como síntesis de clorofila (McLACHLAN, 1961), tasas fotosintéticas (QASIM et al., 1972), volumen celular (CHIN et al., 1975).

Temperatura

La temperatura es un parámetro importante en la producción de estuarios (WILLIAMS y MURDOCH 1966; MANDELLI et al. 1970).

La composición de especies especialmente en las zonas templadas, puede cambiar estacionalmente, en respuesta a los cambios de temperatura (KETCHUM, 1983).

Diagramas T-S

HELLAND - HANSEN (1916) propusieron la representación de la temperatura y la salinidad en los llamados diagramas T-S. Una masa de agua cuyas propiedades están representadas por un punto -en el

diagrama- se llama tipo de agua. Cuando se representan por una línea, masa de agua. Cada punto en el diagrama corresponde a una combinación particular de temperatura y salinidad y por lo tanto a una densidad particular.

Luz

La intensidad de luz es uno de los factores que, en óptima combinación con el medio físico y los nutrientes, permite el crecimiento y desarrollo del fitoplancton en las aguas del estuario (HITCHCOCK y SMAYDA, 1977).

La radiación activa fotosintética (PAR) es atenuada por las capas atmosféricas y al llegar a la superficie del agua parte de ella es reflejada.

La penetración y distribución de la energía radiante que no es reflejada está determinada por la absorción de las partículas y en menor grado por los fenómenos de dispersión (JERLOV, 1976, 1977). En los sistemas pelágicos, la extinción de la luz es efecto, principalmente, de los numerosos sólidos en suspensión, arcillas, compuestos orgánicos y de la acumulación de partículas planctónicas (BALLESTER et al., 1967; CLOERN, 1983).

Alcalinidad y pH

La importancia de estos parámetros en la caracterización ambiental y geoquímica de los estuarios ha sido puesta de manifiesto por diferentes autores (MACKENZIE y GARRELS, 1966; GARRELS y MACKENZIE, 1967; SILLEN, 1967; STUMM y MORGAN, 1970).

La reserva alcalina tiene en los ecosistemas acuáticos una gran importancia por sus relaciones con el pH, dado el escaso margen que de este parámetro toleran, por lo general, los organismos.

Las fluctuaciones que pueda sufrir el pH en el agua se deben a condiciones edáficas a la fotosíntesis y a la actividad respiratoria. Por lo tanto, el pH es un parámetro relacionado con el oxígeno disuelto, CO_2, procesos de mineralización, aniones y cationes en disolución. Por otra parte, puede ser afectado directamente por contaminantes de naturaleza ácida o básica y presenta una estrecha interrelación con el sistema carbónico -carbonato-bicarbonato, que constituye un sistema tampón

gracias al cual el pH del medio no acusa grandes variaciones frente a alteraciones en el medio que impliquen la adición de ácidos o bases.

Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto en el agua de mar varía en función de una serie de factores. Entre los que contribuyen a su aumento están, fundamentalmente, el contacto con la atmósfera (que tiene lugar en las capas superficiales), la acción del viento, las corrientes y los procesos fotosintéticos. Los factores que tienden a disminuir la cantidad de oxígeno son más diversos; entre los más importantes se encuentran el contacto con el aire de las masas de agua superficiales sobresaturadas, la respiración, todos los procesos químicos y biológicos que llevan en sí reacciones de oxidación -tales como oxidación de materia orgánica disuelta o en suspensión-, procesos enzimáticos, oxidación de materia orgánica por la acción bacteriana, etc...

La solubilidad del oxígeno en el agua de mar depende muy directamente de la temperatura y salinidad. Si mantenemos constante la presión, la solubilidad aumenta cuando dichos factores disminuyen.

Nutrientes

El nitrógeno y el fósforo se muestran como nutrientes imprescindibles en el desarrollo del fitoplancton, que rara vez está limitado en su crecimiento por la falta de carbono. A su vez, estos organismos regulan la concentración de estos elementos, que figuran, por lo tanto, entre los de proporcionalidad variable (MARGALEF, 1974).

Nitrógeno

El nitrógeno inorgánico no gaseoso puede encontrarse en tres estados diferentes de oxidación: nitratos, nitritos y amonio. Las proporciones entre estas tres formas del nitrógeno representan el equilibrio de multitud de procesos químicos y biológicos. Lo normal es encontrar a la mayor parte en la forma de nitratos. Ahora bien, donde los procesos de oxidación y mineralización de la materia orgánica sean muy

activos, la concentración de amonio y nitritos podrá igualar o superar a la concentración de nitratos.

Las algas asimilan directamente el nitrato y el amonio, este último a velocidad mayor. El amonio es considerado por McCARTHY, (1981) el principal objeto de asimilación del fitoplancton debido a su estado de reducción (BOUGIS, 1974; SMAYDA, 1983). Así lo confirmaron en el fiordo de Oslo, PAASCHE y KRISTIANSEN (1982), incrementándose su asimilación exponencialmente con la temperatura (DORTCH et al 1982; GLIBERT et al., 1982).

Aunque el nitrito se considera más o menos tóxico, puede ser asimilado por el fitoplancton en presencia de luz y a las bajas concentraciones a que se suele encontrar el nitrito (MARGALEF, 1980). La función de estos como nutrientes queda suficientemente explicada en BOUGIS, (1974); McCARTHY, (1981); DAY, (1981); SMAYDA, (1983).

Fósforo

El fósforo es un factor limitante principal que influye primordialmente sobre los productores primarios.

En general la productividad de un agua guarda relación con su concentración en fosfato, o con su enriquecimiento periódico en fosfato (MARGALEF, 1980). Ciertas especies de fitoplancton sólo prosperan bajo concentraciones muy altas, como si no pudieran regular la concentración de dichos elementos en el interior de la célula: estos organismos abosrben rápidamente el fósforo del medio, pero lo ceden también con mucha facilidad si se pasan a un medio muy pobre. Son las Asterionella, incapaces de mantenerse en un agua con poco fosfato. Muchas otras especies, viven, aunque creciendo lentamente en agua con bajas concentraciones, porque su fisiología es capaz de asegurar la retención de una cantidad suficiente de dichos elementos dentro de las células. Los Ceratium y numerosas dinoflageladas, así como Rhizosolenia se encuentran en este último caso.

Silicatos

El contenido de silicato soluble en el agua depende principalmente del pH. En las aguas naturales dulces suele presentarse entre valores de 1 y 10 $mg.l^{-1}$, con grandes diferencias regionales, y de 2 a 4 $mg.l^{-1}$, en las aguas marinas, pudiendo bajar a 0.05-0.5 $mg.l^{-1}$ en las aguas superficiales, principalmente como consecuencia de su fijación por las diatomeas. (MARGALEF, 1980).

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

Las diatomeas son los organismos que más influyen en el ciclo del silicato. Hay algunas diatomeas que no pueden vivir por debajo de ciertas concentraciones de silicio; así, el crecimiento de Asterionella y Tabelaria se frena por debajo de 0.25 mg Si l^{-1}; Melosira granulata requiere concentraciones más altas, de 3 a 11 $mg.l^{-1}$.

CAPITULO 3

MATERIAL Y METODOS

3.- MATERIAL Y METODOS

3.1.- ZONA DE ESTUDIO

El río Pas vierte sus aguas al Mar Cantábrico originando un estuario típico de valle inundado según la clasificación de PRITCHARD (1967).

La onda de marea sube hasta un kilómetro aguas arriba del Puente Romano de Puente Arce, figura 2.1, (CANTERAS et al., 1986).

La anchura media hasta llegar a Mogro (figura 2.1) es de 50-60 metros. A partir de esta zona, la anchura del cauce se mantiene en bajamar, pero comienza a aumentar a partir de media marea hasta alcanzar los 200 metros.

La salida al mar se produce entre el Puntal de Liencres al Este y el Cabo de Punta del Aguila al Oeste (figura 2.1). El cauce de salida actual describe una amplia curva buscando el Oeste, como se observa en la figura. En otras épocas, este cauce salía más hacia el Puntal, existiendo en la zona por donde actualmente discurre el cauce una amplia zona de sedimentación.

El estuario presenta las siguientes unidades ambientales de interés:

1.- Dunas y playas de Liencres. El origen de esta acumulación de arenas se debe a la confluencia de la corriente litoral con la corriente del río Pas, junto con otros factores climáticos, el más importante de los cuales es el viento.

2.- Canal principal de marea. Coincide con el cauce propio del río. Sometido a la hidráulica fluvio-mareal.

3.- Zona de expansión de la marea, intermareal, entre pleamares y bajamares, queda comprendida entre la orilla del lecho del río y la intersección del plano de la lámina de agua con la superficie. En esta zona se produce una amplia interacción de la dinámica marina (oleajes) y la fluvial.

Se pueden distinguir dos zonas intermareales por la composición del sustrato:

a.- Zona de fangos y limos, rica en materia orgánica, la cual alberga una marisma escasamente desarrollada.

b.- Zona de arenas sueltas. En ésta la fauna y flora son muy escasas debido a su inestabilidad y movilidad.

3.1.1.- Funcionamiento general de la ría

Según CANTERAS et al., (1986) la evolución de los procesos de sedimentación de la ría de Mogro está condicionada por la acción de las corrientes de marea, por la acción del oleaje y por la existencia de una playa de barrera.

El canal principal de desagüe queda confinado lateralmente en la zona de menor energía del oleaje, al oeste, a sotavento del cabo (Punta del Aguila) (Figura 2.1).

La acción de las mareas tiende a mantener abierto el canal de desagüe, introduciendo sedimentos en el estuario.

Por otro lado, la playa de barrera de Liencres tiende a apoyarse en el cabo y, en consecuencia, a estrangular el canal. Esta actuación provoca una reducción de la sección del canal que acarrea una disminución del flujo, potenciándose la sedimentación.

El río, por su parte, especialmente en las épocas de avenidas, permite la salida de materiales hacia el mar donde, una vez sedimentados, son removidos por la acción del oleaje. Esta dinámica ocasiona una selección de tamaño de los materiales de forma que los más finos se depositan a mayores profundidades, mar adentro.

En épocas de mareas vivas con escasa actividad del oleaje y caudales fuertes del río, el canal se ensancha, evacuando materiales al mar.

En épocas de mareas muertas con escaso aporte fluvial y con fuerte oleaje, el canal se estrecha y se alarga hacia el estuario, dando lugar a zonas de gran acumulación de sedimentos.

El diferente comportamiento sedimentológico de las zonas terrestres y marítimas del estuario proporciona una tendencia de

aterramiento del mismo. Fundamentalmente, existen dos tipos de áreas de sedimentación:

a.- Zonas en las que, como consecuencia de la propagación del oleaje durante la subida de marea, entran arenas, que han sido previamente sometidas a la acción del oleaje.

b.- Zonas donde se depositan los materiales más finos que transporta el río y en los que las menores velocidades existentes en la bajada de marea evitan su salida.

3.1.2.- **Mareas**

Las mareas en la ría de Mogro, al igual que en toda la costa cantábrica, son de tipo semidiurno. Solapado con este ciclo hay otro quincenal de mareas vivas alternando con mareas muertas. El intervalo entre dos mareas consecutivas es el que corresponde a la onda semidiurna principal lunar, M_2, que es de 12 horas 25 minutos.

El rango de amplitud de marea es de alrededor de 4 m en mareas vivas y aproximadamente 2 m en mareas muertas. Las mareas altas vivas ocurren sobre las 0.4 h y 16 h GMT, y las mareas altas muertas sobre las 10 h y 22 h GMT. Todas estas consideraciones se refieren a las mareas predichas por el Instituto Hidrográfico de la Marina para el Puerto de Santander y editadas por la Junta del Puerto (1984, 1985).

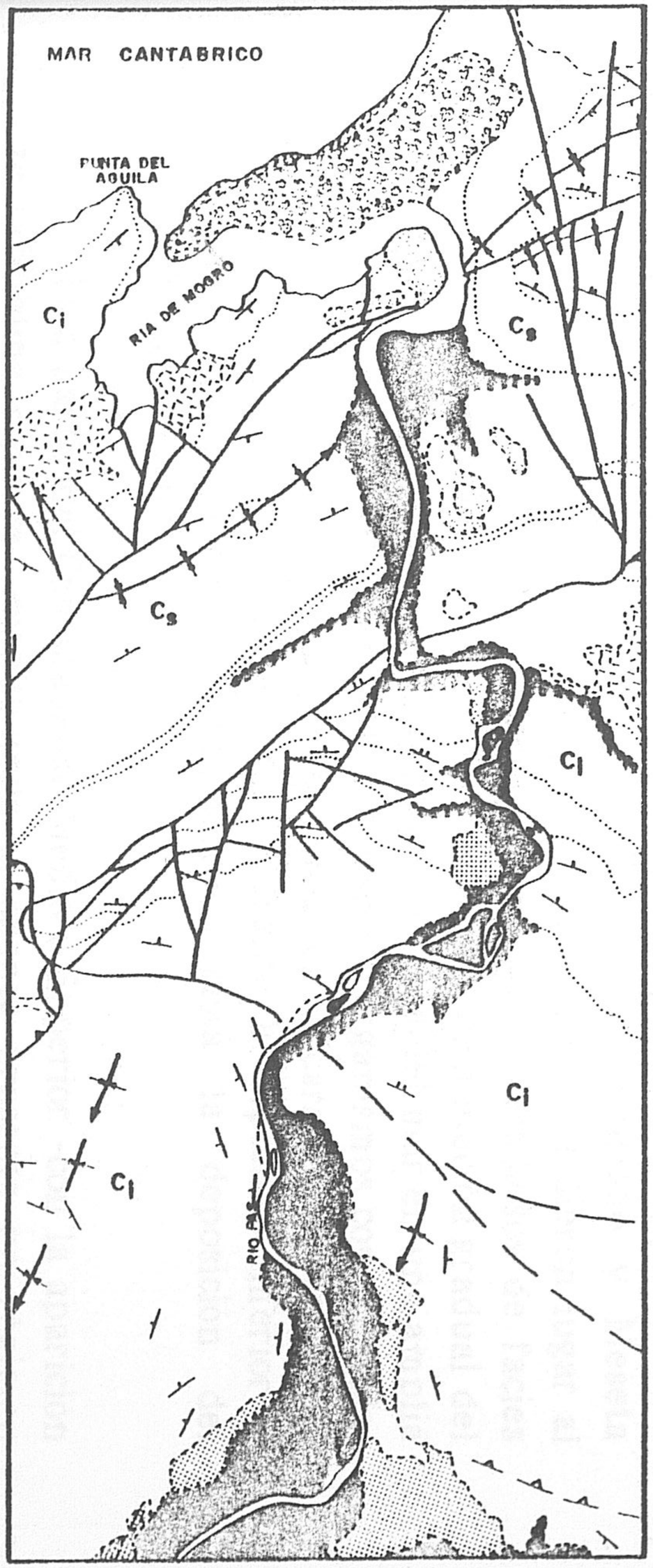
El prisma de marea, que se define como el volumen de agua que pasa por la desembocadura con cada ciclo de marea, varía según la amplitud de marea. El máximo actual es de 4.550.000 m^3.

3.1.3.- **Geología**

El estuario se ha desarrollado sobre formaciones geológicas de edad secundaria, concretamente del Cretácico Inf-Medio a Superior.

En la figura 3.1 se muestra el esquema geológico de la ría según IGME (1976).

Estratigráficamente, las formaciones del Cuaternario tienen en la zona de referencia una manifestación especialmente importante.



3.1. ESQUEMA GEOLOGICO DE LA RIA DE MOGRO. CANTABRIA

SEGUN HOJA Nº 34. TORRELAVEGA I. G. N. E.

LEYENDA

CUATERNARIO	Q_2 Al	*ALUVIONES*
	Q_2 P	*PLAYAS*
	Q_2 D	*DUNAS*
	Q_2 Cu	*CUBETAS DE DECALCIFICACION*
	Q_1 T_2	*TERRAZAS*
	Q_1 T_3	*TERRAZAS*
	Q_1 T_4	*TERRAZAS*
CRETACICO SUPERIOR	C_s	*CALIZAS, DOLOMIAS Y MARGAS*
CRETACICO INFERIOR	C_I	*CALIZAS, ARENAS Y LIMOS*

SIGNOS CONVENCIONALES

- CONTACTO NORMAL
- CONTACTO DISCORDANTE
- FALLA
- FALLA SUPUESTA
- FRENTE DE CABALGAMIENTO O MANTO DE CORRIMIENTO
- FALLA INVERSA
- SINCLINAL CON SENTIDO DE BUZAMIENTO AXIAL
- SINCLINAL SUPUESTO O DEDUCIDO
- DIRECCION Y CANTIDAD DE BUZAMIENTO APROXIMADO (0-15, 15-30)

ESCALA : 1/ 50.000

El Pleistoceno está representado por las terrazas del valle del Pas, que llegan a estar presentes hasta la parte interna de la Ría. Están constituídas por bolos y cantos de cuarzo y cuarcita englobados en una matriz arenosa.

Entre los sedimentos correspondientes al Holoceno se pueden distinguir los siguientes:

Aluviones, constituídos por gravas y bolos heterogéneos con matriz areno-arcillosa, en la que es frecuente la presencia de materia orgánica.

Playas, formadas por arenas finas silíceas con conchuelas.

Dunas, depósitos de arenas finas caracterizados por su gran inestabilidad y movilidad.

Cubetas de decalcificación, constituídas por arcillas arenosas rojizas que rellenan el fondo de depresiones kársticas tipo poljé, desarrolladas sobre los materiales calizos del Cretácico Inferior.

Paleogeografía

La pequeña región estudiada se enmarca dentro del ámbito paleogeográfico cuyas características generales se describen a continuación.

Después del levantamiento del Macizo Asturiano y Meseta Castellana y de la activa erosión de sus materiales, que dieron lugar al depósito de los sedimentos arenosos, limolíticos y arcillosos de facies Weald, al comienzo del Aptense tiene lugar una disminución gradual del aporte detrítico-terrígeno, permitiendo la entrada del mar en una amplia plataforma en la que pueden desarrollarse los organismos constructores de arrecifes, produciéndose una sedimentación calcárea, con irregulares aportes terrígenos, más importantes durante el Aptense Inferior y Albense Inferior, teniendo continuidad hasta la deposición del Cenomanense Inferior.

Es a partir del Cenomanense Medio a Superior -con la aparición de Orbitolina cóncava- cuando toda la cuenca presenta un régimen claramente marino, en el que los aportes del continente son poco o nada

importantes, depositándose la serie de calcarenitas bioclásticas en régimen nerítico.

Durante el Turonense, Coniacense y Santoniense la cuenca alcanza los máximos de profundidad, depositándose la serie de margas y calizas arcillosas en un medio nerítico, correspondiente a la zona exterior de la plataforma y, eventualmente, a la interior.

El levantamiento del conjunto de la cuenca tras la trasgresión Flandriense, permite el establecimiento de las cuencas hidrográficas actuales, concretamente el río Pas y la ría de Mogro y el depósito de los sedimentos Cuaternarios. (IGME, 1976).

3.1.4.- Meteorología

Para una mejor comprensión e interpretación de los resultados obtenidos, y muy especialmente en lo que concierne a la hidrografía, haremos una breve descripción de las condiciones meteorológicas.

Los datos meteorológicos han sido suministrados por el Observatorio del Centro Meteorológico de Santander.

Cantabria es una región montañosa en extremo y de gran complejidad orográfica. Esta circunstancia y su proximidad al mar determinan el clima de la región. Según la clasificación de climas de KOPPEN el clima de Cantabria se puede definir como: Atlántico, templado, lluvioso, de ambiente húmedo y de lluvia irregular. Nos encontramos con una de las regiones con menos horas de sol y mayor número de días nubosos y de lluvia de la Península Ibérica. Esto se puede hacer extensible a todo el litoral cantábrico.

El régimen de lluvias se caracterizó por un máximo de precipitaciones en otoño e invierno y un máximo secundario en primavera (meses de abril y mayo).

En 1985, la precipitación anual en Mogro (Figura 3.2) fue de 1452 mm, siendo mayo el mes de más lluvia -con 346.6 mm- y el más seco septiembre, con 3.6 mm (Figura 3.2).

Los datos de temperatura media diaria se pueden ver en la figura 3.3; se produce un progresivo aumento de ésta a medida que se acerca el verano y una dimisnución en invierno, aunque hay que destacar unos

días de alta temperatura que corresponden al mes de diciembre en donde se llegaron a alcanzar los 21.7°C. Estas altas temperaturas en invierno se deben a flujos de viento S, que es un viento seco, cálido y muy fuerte.

La temperatura media diaria fue de 14.5°C, con una mínima absoluta de -1.8°C (9 enero) y una máxima de 32.2°C el 30 de septiembre. El mes más frío fué enero, con 7.5°C, y los más calurosos julio y septiembre.

Siguiendo el método de Gaussen, se han representado las curvas ombrotérmicas correspondientes a 1984 y 1985 con los datos correspondientes a la estación de Santander (figura 3.4) si bien las curvas ombrotérmicas de 1984 siguieron el modelo que se da como general para esta zona, en 1985 apareció un período de sequía en septiembre (la curva ó ómbrica está por debajo de la térmica).

La energía incidente en el período de estudio se muestra en la figura 3.5. En esta figura se han representado tanto los valores promediados mensualmente como los valores promediados cada 10 días.

Sus valores (medias mensuales) oscilan entre 99.84 cal . cm^{-2} $día^{-1}$ para diciembre y 486.96 cal . cm^{-2} $día^{-1}$ para junio. Se observa una mayor variabilidad en los valores medios para grupos de 10 días, especialmente en los meses de verano donde cualquier cambio afecta significativamente a la nubosidad y, como consecuencia, a la energía incidente.

En la figura 3.6 se ha representado el tanto por ciento de insolación diaria.

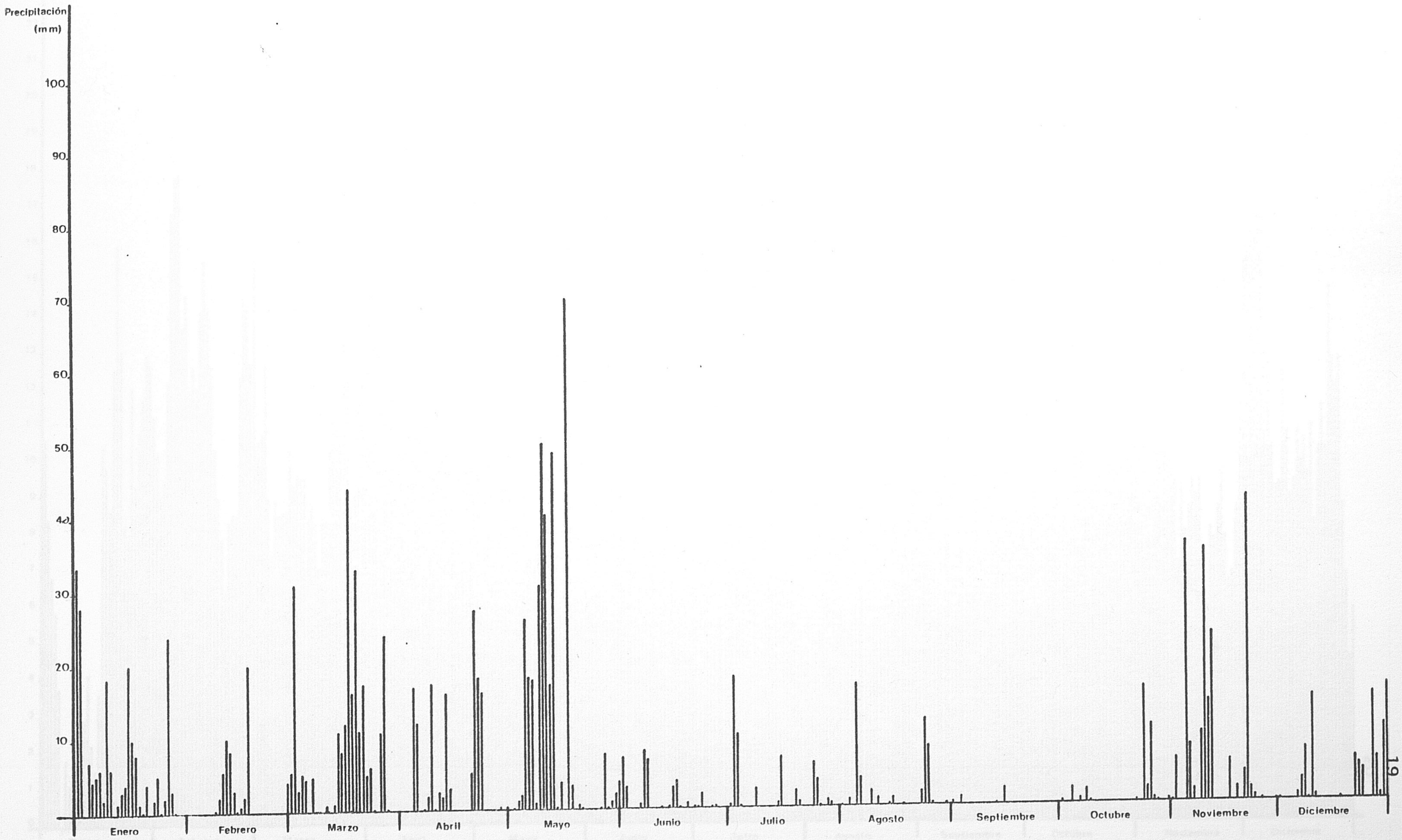
El régimen de vientos en Cantabria da lugar a dos tipos de situaciones típicas de tiempo:

a.- Situaciones húmedas, se producen en general por los vientos del cuarto cuadrante (de O a N).

b.- Situaciones secas, generadas principalmente por vientos del NE, E y S.

En la figura 3.7 se muestra el recorrido del viento, así como su procedencia, durante 1985.

FIGURA 3.2. PRECIPITACION DIARIA
(AÑO 1985)



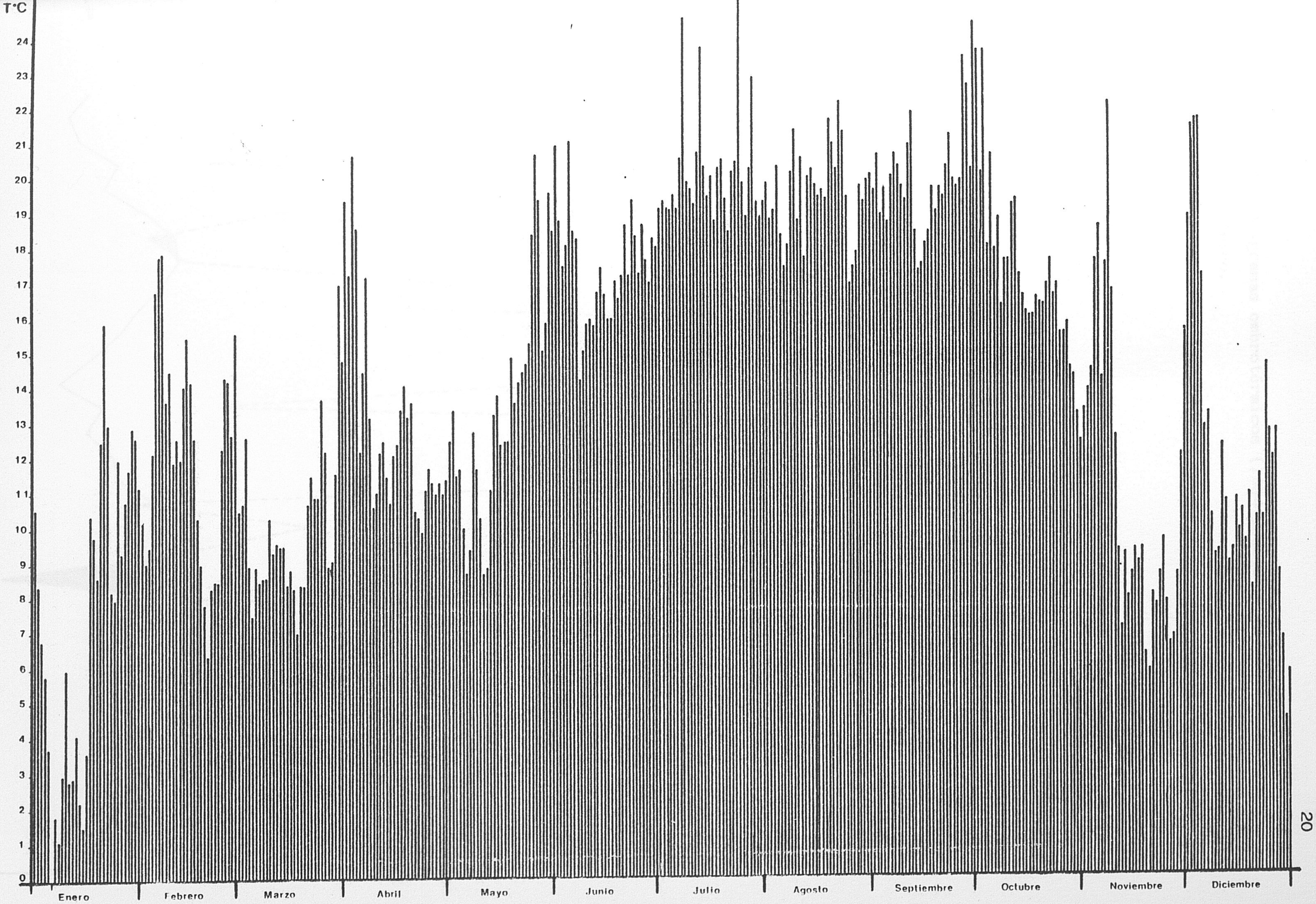

T°C
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Enero
Febrero
Marzo
Abril
Mayo
Junio
Julio
Agosto
Septiembre
Octubre
Noviembre
Diciembre

Figura 3.4.- Diagramas ombrotérmicos (1984-1985). En negro periodo xérico.

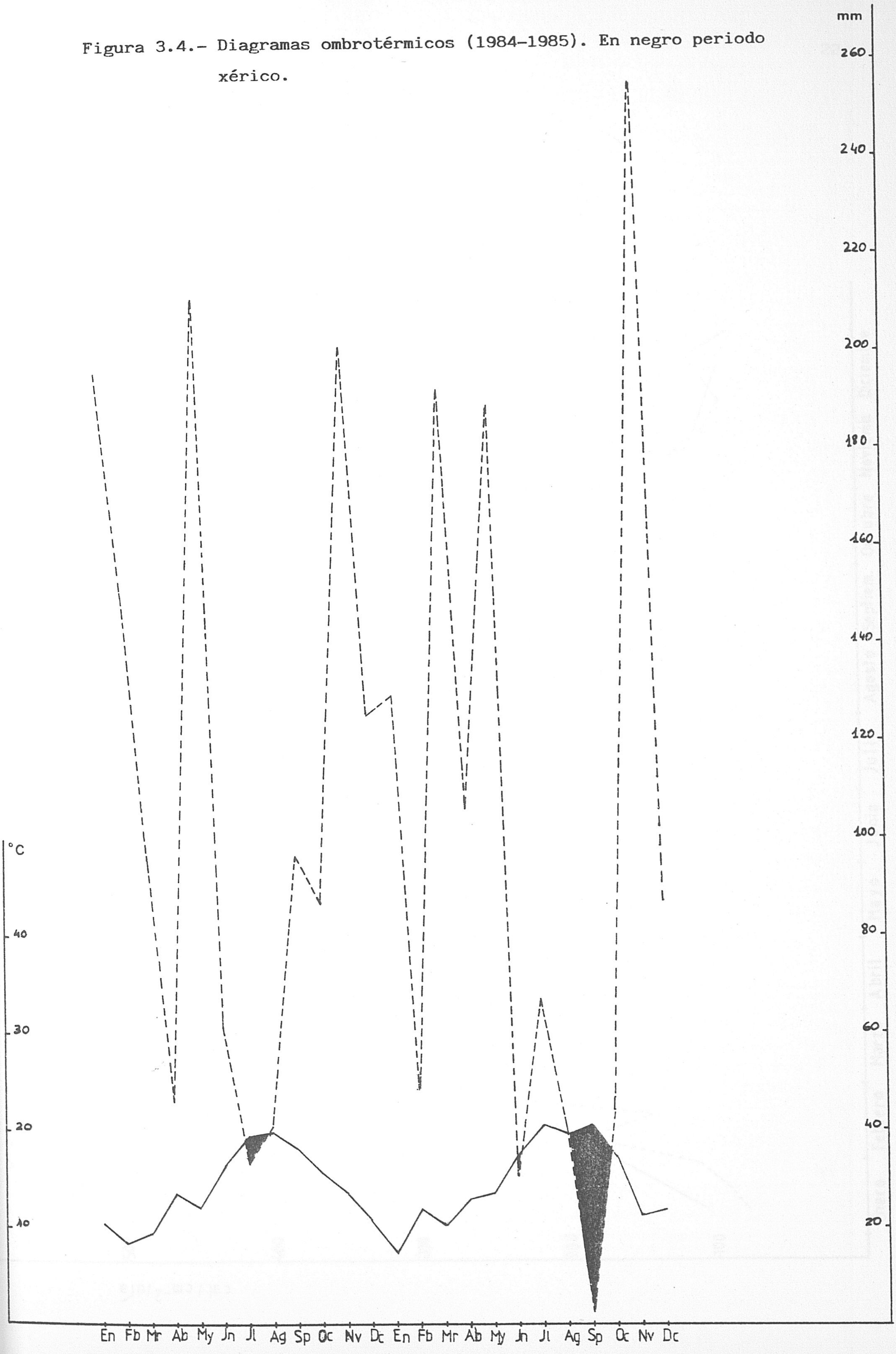
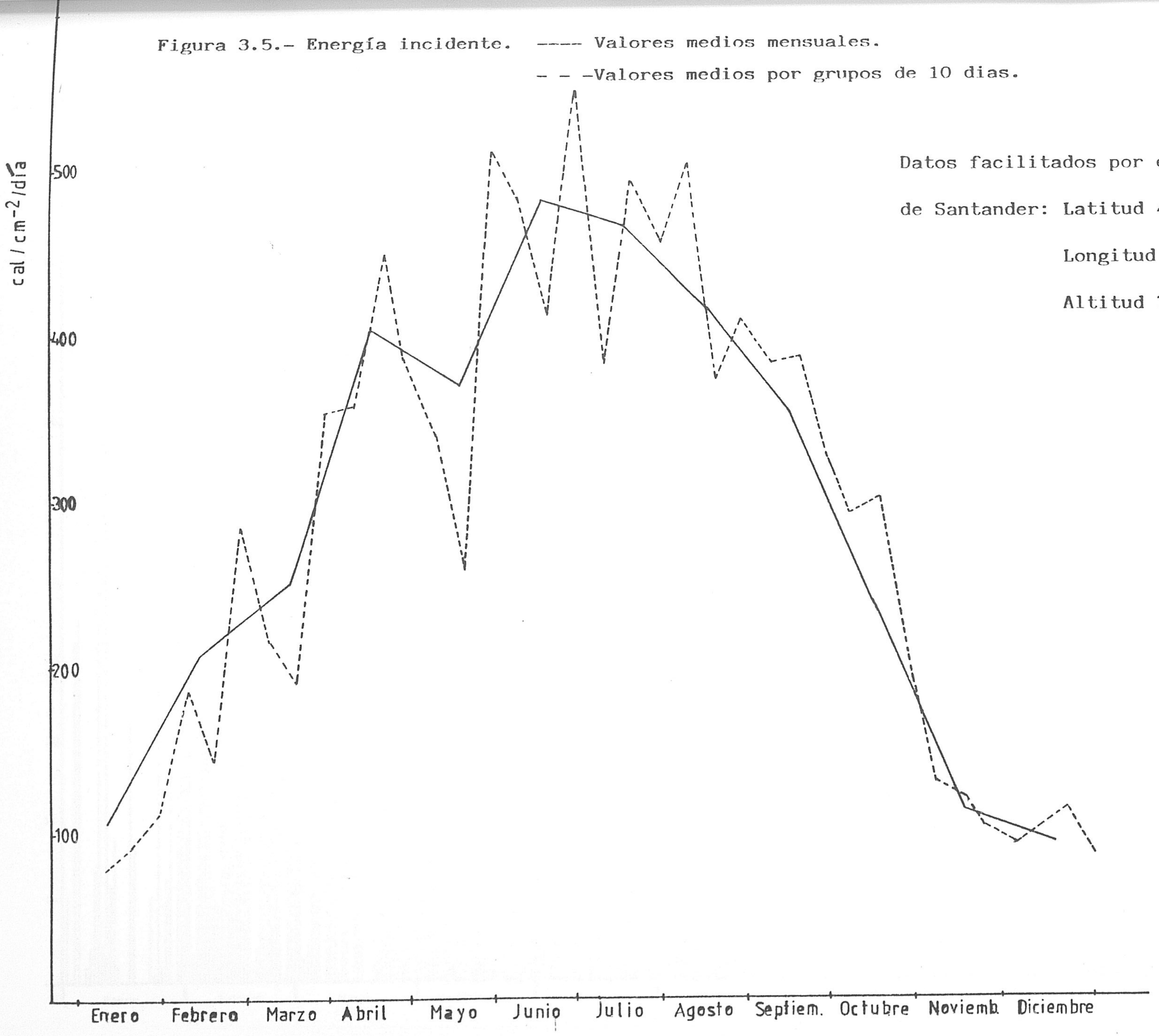


Figura 3.5.- Energía incidente. ---- Valores medios mensuales.

- - -Valores medios por grupos de 10 dias.



Datos facilitados por el Centro Meteorológico de Santander: Latitud 43º 27' 53''

Longitud 03º 49' 08''

Altitud 78.5 m

FIGURA 3.6. INSOLACION ANUAL
(AÑO 1985)

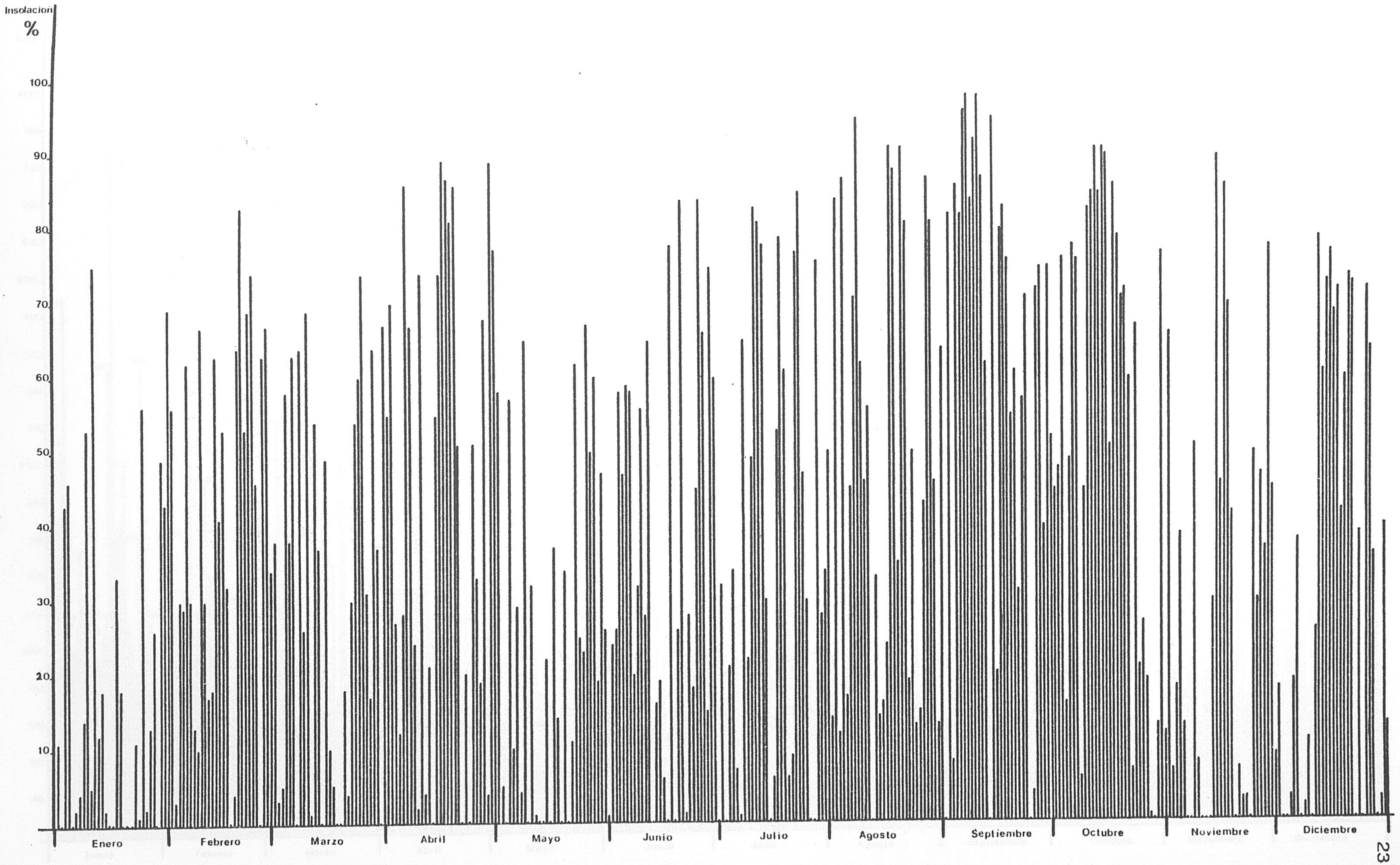
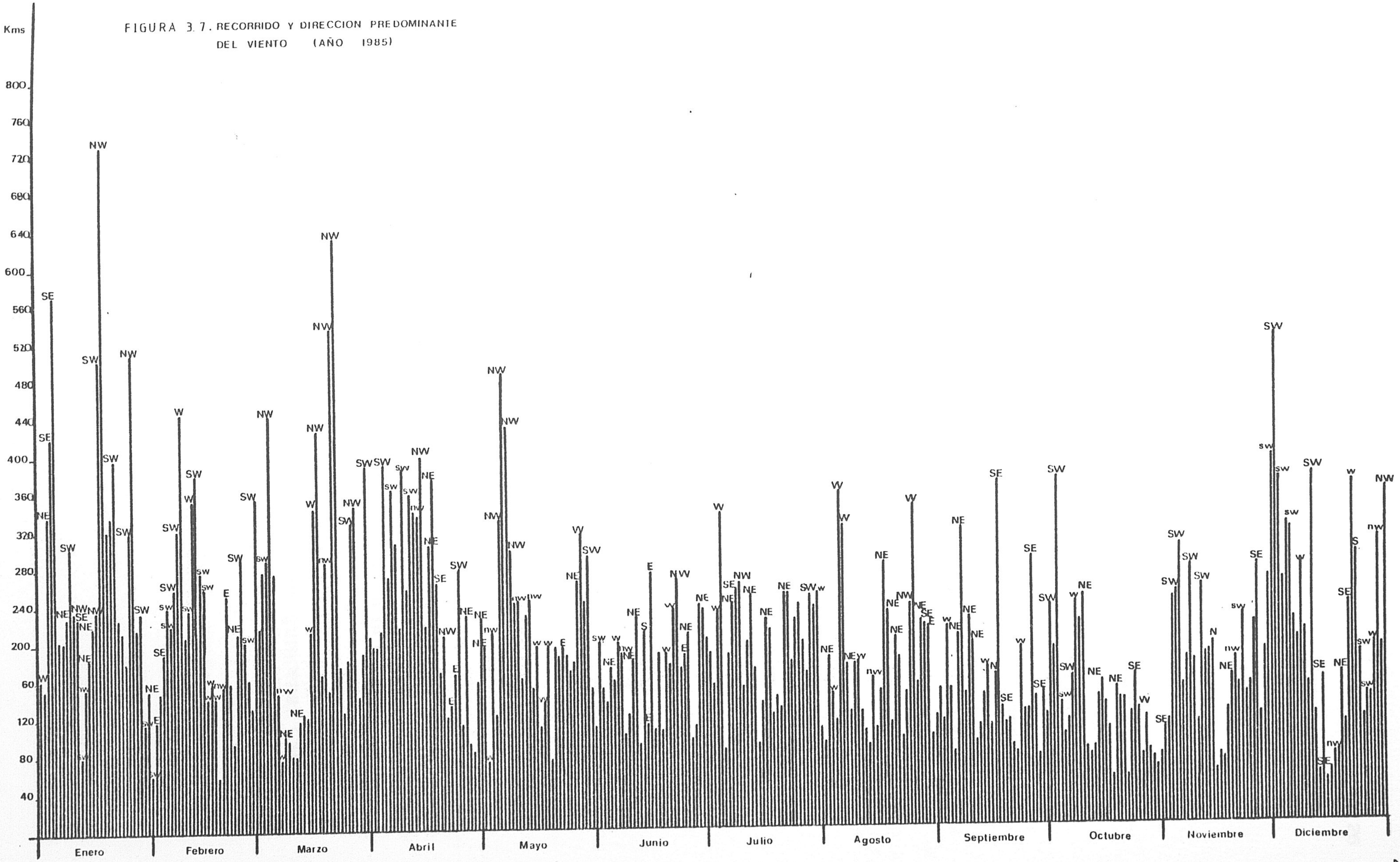


FIGURA 3.7. RECORRIDO Y DIRECCION PREDOMINANTE DEL VIENTO (AÑO 1985)



En la Tabla 3.1 damos un resumen de las condiciones meteorológicas en 1985 comparadas con las de la serie climatológica santanderina de 1924 a 1984.

3.1.5.- Régimen del río Pas

El río Pas recibe los aportes fluviales del río Magdalena y Pisueña. Litológicamente la comarca está caracterizada por la existencia de amplias extensiones cubiertas por arcillas, limolitas y areniscas de Facies Purbeck y Weld. (CENDRERO et al., 1986). Presenta una densidad de población (1979) de 38.93 habitantes Km^2. La población se caracteriza por una altísima dispersión. La causa de esta distribución es el tipo peculiar de explotación ganadera, con una atención continuada al ganado, un régimen de propiedad fraccionado en pequeñas parcelas y una trashumancia estacional.

Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos es necesario hacer una descripción de la descarga del río. El caudal del río guarda una estrecha relación con las precipitaciones. Los caudales medios máximos se dieron en marzo (27.2 m^3/seg) y los mínimos en septiembre (1.99 m^3/seg). Sin embargo, dada la importancia que el caudal del río ejerce sobre la comunidad de fitoplancton, a veces es necesario recurrir al caudal diario o a una medida de los días anteriores a la recogida de muestras.

En la Tabla 3.2 se expresan los caudales diarios del río Pas durante el ciclo de muestreo.

3.2.- MUESTREO

La campaña de muestreo se extendío de febrero a diciembre de 1985. Durante 1984 se hicieron muestreos previos para la ubicación de las estaciones.

La periodicidad con que se llevaron a cabo fué quincenal. Cada muestreo consisitió en:

1.- Obtención de muestras de agua y medidas de parámetros "in situ" a lo largo del ciclo mareal.

2.- Medida "in situ" de la producción primaria en momentos de marea baja y alta.

	DIAS										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1-1985	22.34	38.79	35.16	19.91	15.64	15.24	18.61	21.73	25.52	14.68	
	17.29	11.49	9.91	13.04	16.60	21.67	15.82	14.02	11.50	9.52	
	8.32	7.53	14.35	17.27	10.87	13.46	14.76	11.99	11.55	8.76	7.52
2-1985	7.19	6.49	5.95	5.52	5.17	4.86	4.41	4.00	5.23	9.21	
	9.45	10.04	9.51	7.33	6.66	8.17	7.24	14.01	9.05	7.69	
	6.05	6.35	5.85	5.42	4.95	4.59	4.28	4.05			
3-1985	8.58	12.59	8.17	6.99	8.72	13.32	8.25	13.80	8.80	7.86	
	7.09	6.79	6.55	5.79	15.97	11.61	108.81	60.70	68.95	96.61	
	61.26	44.67	36.32	29.69	22.50	18.43	23.17	57.87	26.77	20.04	16.48
4-1985	11.71	9.69	8.10	6.69	14.27	9,02	7.46	6.67	7.29	10.40	
	7.32	7.65	5.99	6.16	5.94	5.18	4.84	4.55	4.31	3.90	
	15.66	22.98	20.45	17.16	12.81	10.59	9.16	8.08	7.19	6.48	
5-1985	5.19	4.77	4.78	11.02	6.49	34.50	25.94	24.88	14.84	41.04	
	93.68	109.56	114.32	50.82	40.69	37.81	25.98	36.03	22.91	17.48	
	14.18	11.34	9.47	8.21	6.79	5.37	4.33	7.46	4.77	6.21	13.83
6-1985	8.01	8.63	13.53	7.72	6.70	6.07	5.32	8.84	5.81	5.13	
	4.64	4.15	3.84	4.08	3.34	5.02	4.13	3.43	4.81	3.64	
	3.40	3.21	2.95	3.55	2.99	2.86	3.37	3.10	2.84	2.73	
7-1985	2.22	3.18	3.35	3.10	2.70	2.57	2.68	2.44	3.20	2.58	
	2.47	2.35	2.26	2.20	2.14	2.08	2.00	1.93	1.89	3.77	
	2.62	2.49	2.39	2.62	2.46	3.14	2.55	2.44	2.34	6.16	3.57
8-1985	3.03	3.02	2.98	9.06	6.29	4.61	4.11	3.70	3.37	3.08	
	2.86	2.81	2.57	2.34	2.24	2.50	2.20	2.11	1.85	1.75	
	1.73	1.71	1.69	2.44	2.60	2.59	2.25	2.16	2.08	2.02	1.95
9-1985	1.90	1.86	2.00	2.18	1.95	1.90	1.86	1.80	1.75	1.71	
	1.69	1.68	1.66	1.91	1.75	3.29	2.35	2.24	2.14	2.07	
	2.00	1.95	1.90	1.86	2.50	2.06	2.00	1.95	1.89	1.85	
10-1985	1.93	2.19	2.00	1.97	1.94	2.11	1.97	1.94	1.91	1.86	
	1.84	1.83	1.81	1.80	1.79	1.78	1.76	1.75	1.75	1.74	
	1.72	1.72	1.72	1.72	2.87	4.80	10.14	5.72	4.90	4.32	3.91
11-1985	4.54	3.95	4.02	3.56	3.50	8.27	47.76	15.20	11.91	14.62	
	15.91	24.01	16.06	12.13	9.85	8.36	7.21	9.30	6.73	9.98	
	11.48	14.82	10.29	8.33	6.86	6.25	5.16	4.60	4.20	3.87	
12-1985	4.23	3.97	3.68	3.50	3.44	3.98	3.13	2.97	9.04	6.38	
	7.86	6.05	5.28	4.85	4.49	4.19	3.94	4.63	3.88	3.67	
	3.48	3.33	9.35	5.08	7.86	5.35	5.75	16.63	14.38	9.06	10.73

Tabla 3.2.- Caudales diarios del río Pas (m^3/seg).

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

Los parámetros medidos y analizados a partir de las muestras de agua tomadas fueron los siguientes:

a) Físicos "in situ":
- -pH.
- -Conductividad eléctrica.
- -Temperatura.
- -Intensidad de luz.

b) Químicos:
- -Cloruros.
- -Salinidad.
- -Nitritos.
- -Nitratos.
- -Amonio.
- -Fosfatos.
- -Silicatos.
- -Alcalinidad.
- -Oxígeno.

c) Biológicos:
- -Clorofila a.
- -Indice de pigmentos de Margalef.
- -Biomasa de la comunidad fitoplanctónica.
- -Producción primaria del fitoplancton.
- -Indice de asimilación (carbono asimilado particulado/clorofila a).

3.2.1.- **Localización de las estaciones en la ría**

Al no existir ningún tipo de trabajo publicado sobre la ría del Pas, en 1984 se efectuaron una serie de muestreos exploratorios con el fin de acotar la zona de estudio y situar las estaciones de muestreo. Se diseñó para ello un retículo de muestreo (figura 3.8) que consistió en medir, según el eje longitudinal de la ría, parámetros hidrográficos a partir de los cuales se pudiera conocer la influencia marina en el río Pas.

Con los resultados obtenidos (tabla 3.3), y teniendo en cuenta el volumen de muestras a obtener y tratar, se determinó establecer tres estaciones de muestreo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
pH	7.3	6.9	9.6	10.3	–	–	8.8	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.6	8.6
Tem.	8.5	8.5	8.9	8.8	8.8	8.8	10	9.6	9.8	10.4	12	12.1	11	11.4	11.8	11.5
Conduct.	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	6.3	8.9	11.8	22.6	43.1	43.6	11.2	18.4	30	15.5
Turbidez	6	9	44	51	–	48	5	6.3	35.4	96	60	31	23	24	24	17
OD	10.4	10.7	6.4	7.6	8.1	10	–	–	–	–	–	–	14.6	11.2	–	15.2
Salinidad	0.03	0.04	0.05	–	–	–	5.8	–	–	–	–	–	7.7	–	–	12.8
$NO_3^=$ (µgrat/l)	21.9	49	50	–	–	–	44	–	–	–	–	–	37	–	–	41
NO_2^- "	0.03	0.04	0.04	–	–	–	0.05	–	–	–	–	–	0.04	–	–	0.06
$PO_4^=$ "	1.4	0.9	1.2	–	–	–	1.4	–	–	–	–	–	1.2	–	–	1.7
AT	1.16	1.14	1.14	–	–	–	1.4	–	–	–	–	–	1.5	–	–	1.6

1 : Renedo; 2 : Barcenilla; 3 : Puente Arce, 0 m; 4 : Puente Arce, 0.5 m; 5 : Puente Arce, 1.5 m; 6 : Puente Arce, 6 m; 7 : Mogro, 0 m; 8 : Mogro, 0.5 m; 9 : Mogro, 1 m; 10 : Mogro, 2 m; 11 : Mogro, 2.5 m; 12 : Mogro, 3 m; 13 : Sol, 0 m; 14 : Sol, 0.5 m; 15 : Sol, 1 m; 16 : Liencres.

Tabla 3.3.- Resultados obtenidos al realizar el retículo de muestreo, para la localización de las estaciones de estudio.

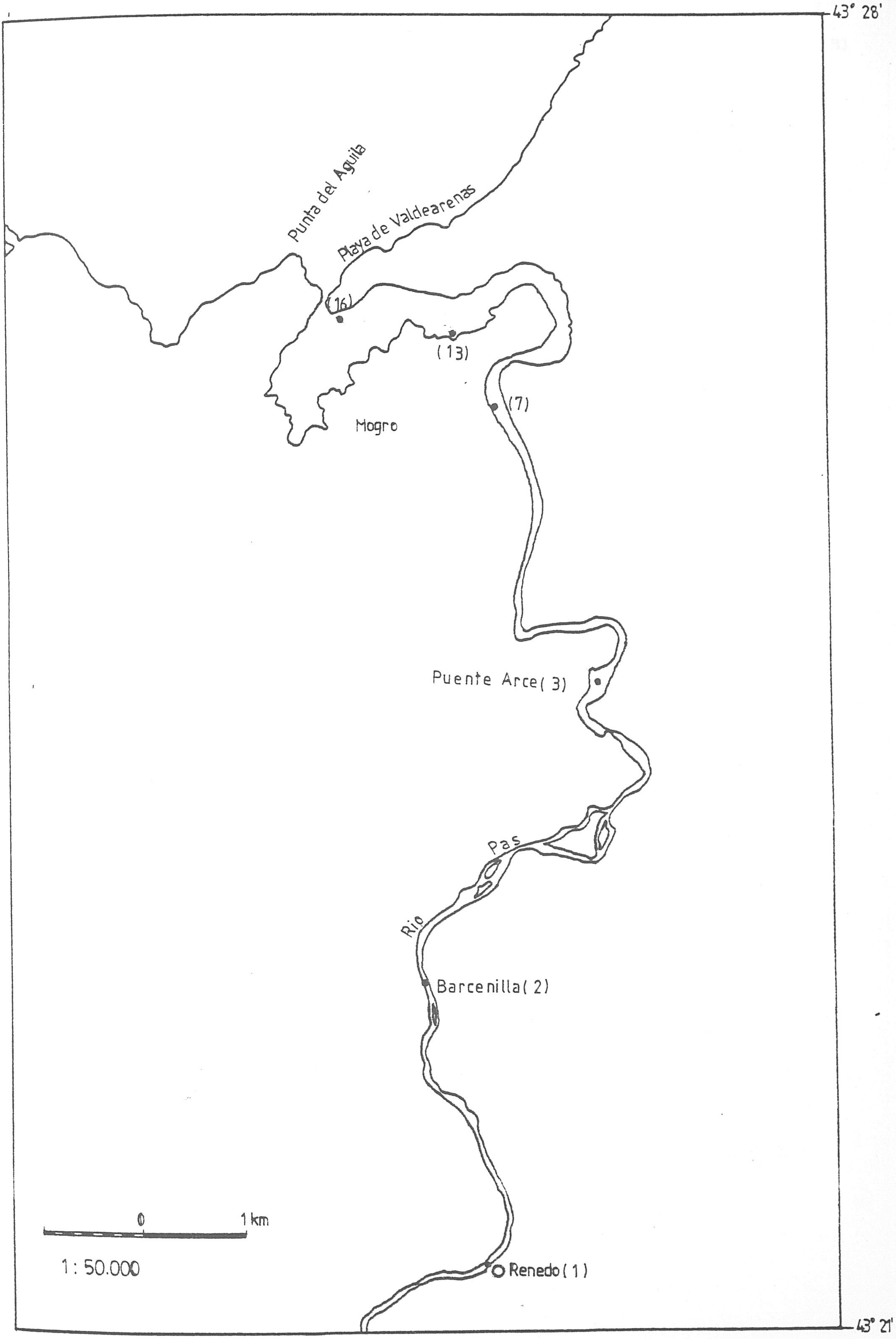


Figura 3.8- Reticulo de muestreo. Los números corresponden a los nombres de las estaciones dadas en la Tabla 3.3.

Su ubicación se aprecia en la figura 3.9. En cada una de las estaciones de muestreo se tomó agua a lo largo de un trayecto perpendicular al eje principal de la ría en:

a) Litoral derecho (LA).
b) Litoral izquierdo (LB).
c) Punto central entre ambas orillas, en tres profundidades: agua de superficie (CS), de fondo (CF) y agua intermedia (CM).

3.2.2.- Recogida de las muestras

3.2.2.1.- Muestras para el estudio del ciclo mareal

Los días de muestreo figuran en la Tabla 3.4. La duración del muestreo fue de 6 horas, desde el estado de marea baja (Bajamar) hasta marea alta (Pleamar).

La toma de muestras se llevó a cabo cada 3 horas (Bajamar; media marea subiendo; Pleamar).

La recogida de muestras de agua se hizo desde una Lancha tipo Zodiac con un motor fueraborda de 4.5 C.V.

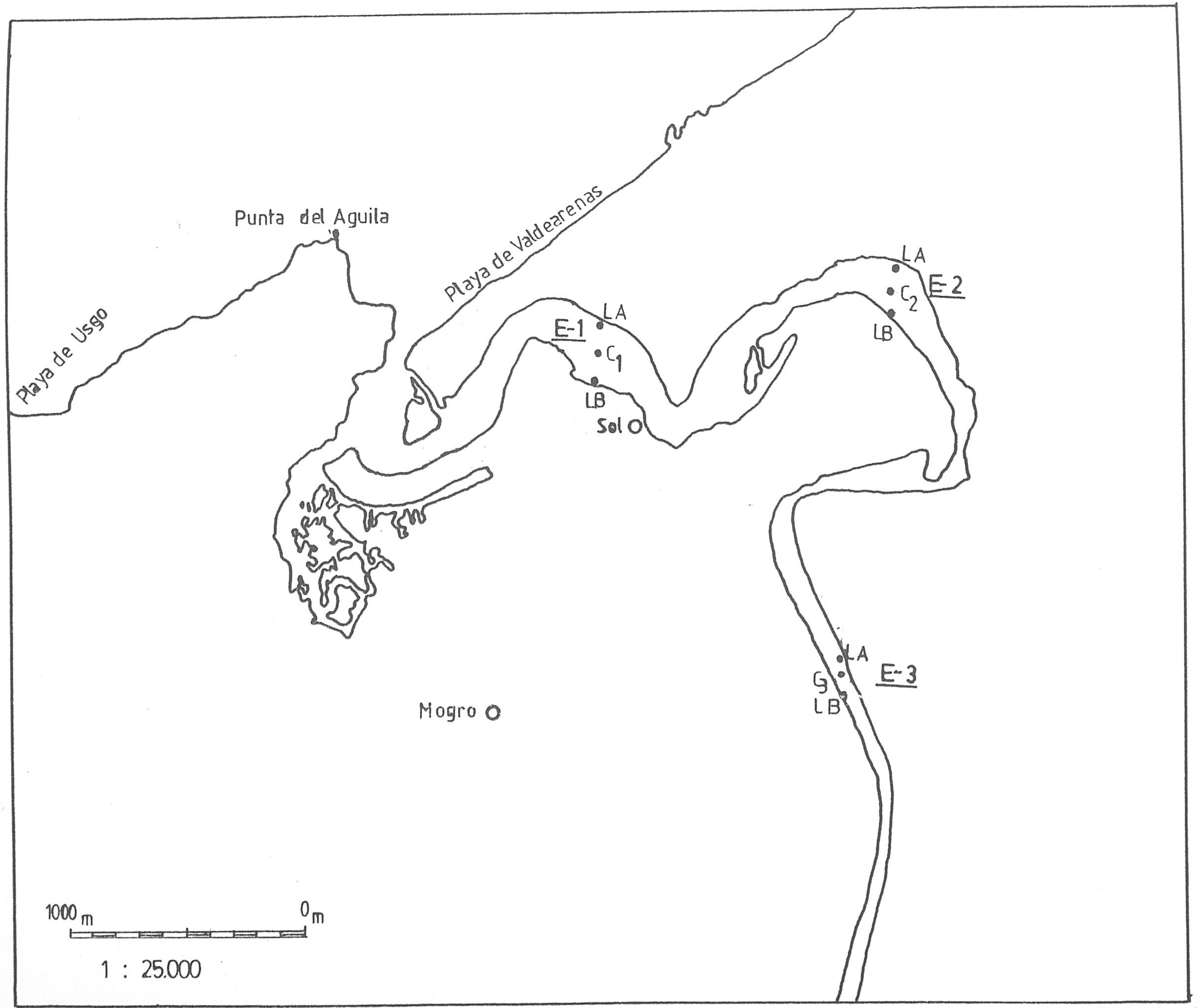
Para las muestras de profundidad se utilizaron botellas del tipo Van Dorn simples y transparentes de 8 l. de capacidad.

El agua procedente de cada punto se repartió de la siguiente manera:

a.- 250 c.c. de agua para la determinación de oxígeno disuelto, en frascos BOD con tapón de vidrio esmerilado. Una vez llenados los frascos evitando absolutamente el burbujeo, el agua se fijó con los correspondientes fijadores del método Winkler.

b.- 250 c.c. de agua, en botellas transparentes con cierre hermético, fijadas con lugol para análisis de fitoplancton.

c.- 3 l. de agua en recipiente de plástico para la realización de análisis físicos, químicos y clorofila.



C - centro
$C_1 \simeq 1.5$ m
$C_2 \simeq 3$ m
$C_3 \simeq 4$ m

Figura 3.9. – Posición de las estaciones de muestreo en la Ría de Mogro. En C de cada estación se recogieron muestras a tres profundidades.(CS; CM; CF). La profundidad variaba según la estación, el coeficiente de marea etc..

Tabla 3.4. DIAS Y HORAS DE TOMA DE MUESTRAS PARA EL CICLO ANUAL 1985.

Mes	Dias/estaciones	Hora de recogida de las muestras *	Hora Bajamar/ Hora Pleamar
Febrero	4-2-85/2	9.40-12.40-14.52	9.40/14.52
Febrero	5-2-85/1	10.20-13-16.29	10.20/16.29
Febrero	7-2-87/3	11.39-14-17.44	11.39/17.44
Marzo	6-3-85/1,2	10.02-13-16.13	10.02/16.13
Marzo	7-3-85/3	10.43-13.43-16.52	10.43/16.52
Abril	2-4-85/1,2,3	9.09-12-15.26	9.09/15.26
Mayo	15-5-85/1,2	9.05-12-15.14	9.05/15.14
Mayo	16-5-85/3	9.47-12.30-15.57	9.47/15.57
Junio	12-6-85/1,2	7.11-10.15-13.21	7.11/13.21
Junio	13-6-85/3	8.21-11-14-30	8.21/14.30
Julio	15-7-85/1,2	9.55-13-16.06	9.55/16.06
Julio	16-7-85/3	10.31-13.30-16.43	10.31/16.43
Agosto	1-8-85/1,2,3	11.35-14.15-17.51	11.35/17.51
Septiembre	12-9-85/1,2,3	9.31-12.15-15.42	9.31/15.42
Octubre	10-10-85/1,2,3	7.06-10-13.24	7.06/13.24
Noviembre	11-11-85/1,2,3	9.10-12.10-15.24	9.10/15.24
Diciembre	10-12-85/1,2,3	8.53-12-15.10	8.53/15.10

*Hora solar.

El agua contenida en los recipientes de plástico se filtró inmediatamente después de la recogida.

El volumen de agua a filtrar, con bomba de vacío, osciló entre 2 y 3 l, dependiendo de la concentración de fitoplancton presente en la muestra. Se emplearon filtros Whatman GF/C de 6-7 cm de diámetro.

El filtro con el material retenido en él se guardaba en tubos que contenían aproximadamente 6 ml de acetona al 90% dejándolos en oscuridad y en nevera durante 24 horas, para su posterior análisis de pigmentos.

El último litro de agua filtrada de cada muestra se guardaba en botellas de plástico y en nevera para análisis químico.

3.2.2.2.- Muestras para la determinación de la producción primaria

La producción primaria se estimó mensualmente en los momentos extremos del ciclo mareal: pleamar y bajamar. Se eligieron días en los que estos estados de marea se dieron entre las 11 y 14 horas solares (tabla 3.5). Se midió en todas las estaciones y en todos los puntos de muestreo (figura 3.9).

Las muestas se tomaron como en el apartado anterior y se repartieron de la siguiente manera:

a.- 250 c.c. para la determinación del oxígeno disuelto.
b.- 2 a 3 l, de agua para análisis de clorofila y químicos.
c.- 250 c.c. en frascos de vidrio transparentes y 250 c.c. en opacos, evitando el burbujeo y lavando previamente dos veces con la misma muestra, para medida de la productividad primaria.

Una vez llenados los frascos de vidrio transparentes y opacos e inoculados (como veremos posteriormente) se ponían a incubar en la ría.

La disposición y colocación de las botellas se puede observar en la figura 3.10.

El tiempo de incubación fue de 2 horas. La intensidad de luz se media cada media hora, durante el tiempo de incubación, con un medidor de luz (LICOR model Li-185 B) equipado con un sensor esférico, escalar,

Tabla 3.5 DIAS Y HORAS DE TOMA DE MUESTRAS PARA EL CICLO ANUAL DE PRODUCCION PRIMARIA.

Mes	Día	(1)	Hora de recogida	Hora incubación
Febrero	6-2-85	Bajamar	10.59	12-14 h.
Febrero	28-2-85	Pleamar	10.10	11.15-13.15 h.
Marzo	8-3-85	Bajamar	11.23	12.23-14.23 h.
Marzo	14-3-85	Pleamar	10.40	11.15-13.15 h.
Abril	17-4-85	Bajamar	10.14	11-13 h.
Abril	25-4-85	Pleamar	9.00	10-12 h.
Mayo	17-5-85	Bajamar	10.20	11-13 h.
Mayo	-5-85	Pleamar		
Junio	10-6-85	Pleamar	10.44	11.30-13-30 h.
Junio	15-6-85	Bajamar	8.51	10.30-12.30 h.
Julio	9-7-85	Pleamar	9.51	12-14 h.
Julio	17-7-85	Bajamar	11.07	12.15-14.15 h.
Agosto	2-8-85	Bajamar	12.12	12.30-14.30 h.
Agosto	8-8-85	Pleamar	7.50	10-12 h.
Septiembre	13-9-85	Bajamar	10.14	11.20-14.20 h.
Septiembre	19-9-85	Pleamar	8.15	10.15-12.15 h.
Octubre	7-10-85	Pleamar	9.42	12-14 h.
Octubre	11-10-85	Bajamar	8.00	11-13 h.
Noviembre	6-11-85	Pleamar	10.23	12.30-14.30 h.
Noviembre	12-11-85	Bajamar	9.55	11.30-13.30 h.
Diciembre	5-12-85	Pleamar	9.42	11-13 h.
Diciembre	11-12-85	Bajamar	9.40	11-13 h.

(1) Tipo de muestreo: Producción Primaria

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

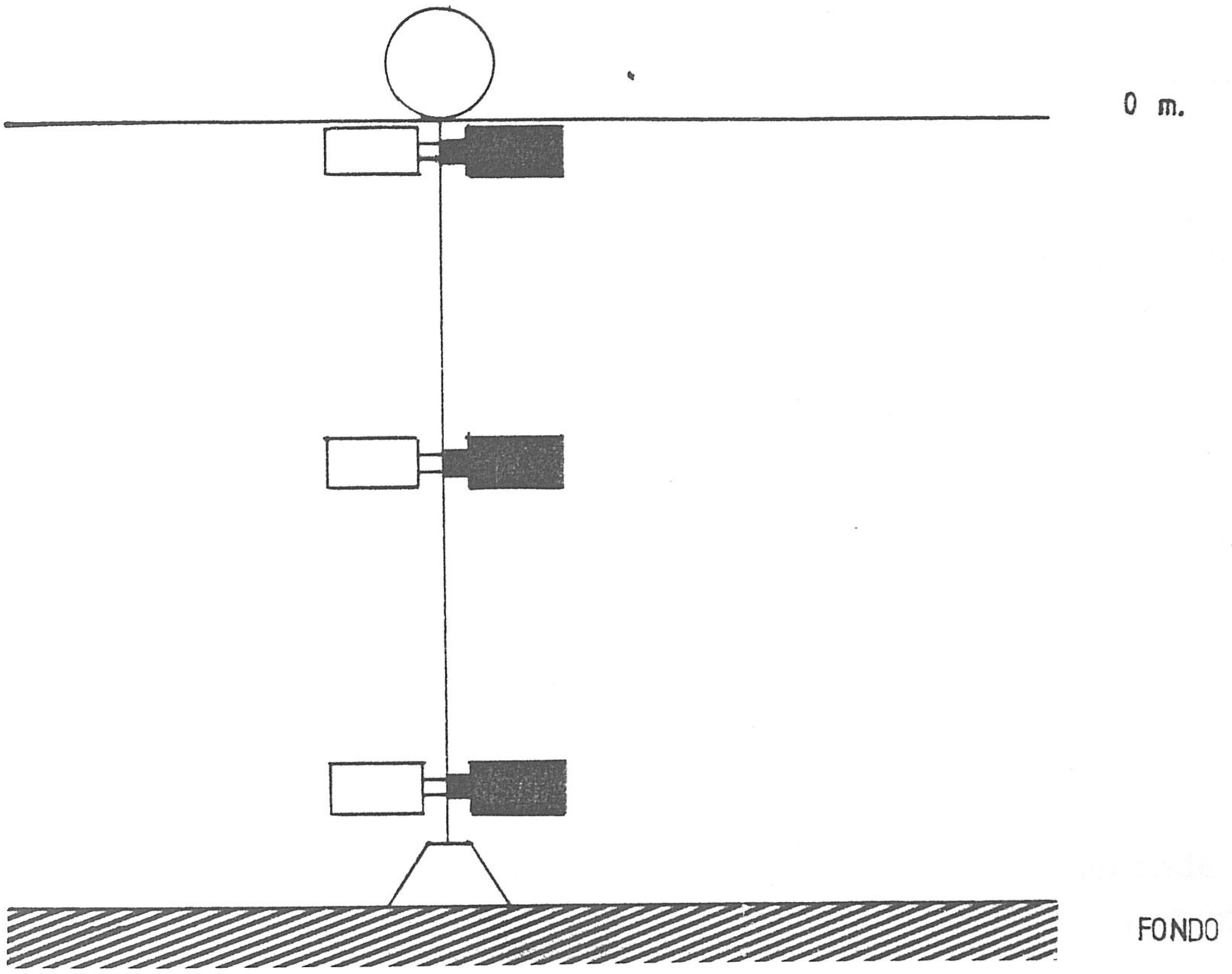


Figura 3.10.- Disposición de las botellas transparentes y opácas (en negro) en la incubación de muestras para la medida de producción primaria.

que mide la radiación total recibida en cada punto independientemente del ángulo de incidencia de la luz. Las medidas se realizaron en el aire y a la profundidad de recogida de muestras.

3.3.- METODOS

3.3.1.- Métodos analíticos

3.3.1.1.- Determinación de la salinidad

Los cálculos de la salinidad se hicieron en el laboratorio, a partir de la valoración de los cloruros con NO_3Ag.

El método empleado fue el de Mohr y hubo que hacer diluciones del agua (sobre todo cuando se trataba de muestras de pleamar) a veces de hasta el 1/100; éstas se hicieron con pipeta automática.

La ecuación empleada para el cálculo de la salinidad fue:

$$S\% = 1.80655 \ Cl\ \%$$

KNUDSEN (1901), siendo Cl % la clorinidad.

3.3.1.2.- Cálculo de la densidad

La densidad o gravedad específica del agua de mar depende de su temperatura y de su grado de salinidad principalmente y, en menor grado, de la compresibilidad debida a la presión del mar.

Para agua poco profunda -como es el caso de las rías- podemos prescindir de esta última variable.

La densidad del agua de mar siempre comienza con las cifras 1.0..., por lo que es costumbre abreviar la densidad por medio de la ecuación siguiente:

$$\sigma_T = (\rho_T - 1)\ 1000$$

donde ρ_T es la densidad de la muestra a temperatura (^oC).

Los cálculos de sigma-t se han realizado según la ecuación de COX, dada en las tablas Oceanográficas Internacionales N.I.O., U.N.E.S.C.O. (1973).

3.3.1.3.- Transparencia del agua

La medida de la transparencia del agua tiene numerosos problemas en un estuario. Se ha utilizado el coeficiente de extinción de la luz a partir de los datos de intensidad luminosa medida a varias profundidades donde:

$$I_z = I_0 e^{-\mu z}$$

siendo

I_z = intensidad de luz medida a la profundidad z. ($W\ m^{-1}$).

I_0 = intensidad de luz medida a la profundidad 0. ($W\ m^{-1}$).

z = profundidad. (m).

μ = coeficiente de extinción. (m^{-1}).

3.3.1.4.- Análisis de nutrientes

Los nutrientes estudiados fueron: nitrato, nitrito, amonio, fosfato, silicato. Los métodos de análisis químico empleados en su determinación son universalmente conocidos y utilizados, por lo que no haremos una exposición detallada de los mismos. En la tabla 3.6 se cita el método correspondiente a cada uno de ellos, con la correspondiente referencia bibliográfica.

3.3.1.5.- Determinación de los pigmentos fotosintéticos

La filtración se llevó a cabo inmediatamente después de la recogida de muestras.

El volumen de agua filtrada variaba entre 1 y 3 l, dependiendo de la concentración de fitoplancton.

El filtro se guardaba en tubos que contenían aproximadamente 6 ml de acetona al 90%, durante 24 horas a $4^{o}C$ y oscuridad.

Análisis	Método	Referencia	Instrumento
Conductividad	Electrométrico		Crison
Temperatura			Termómetro (Hg)
pH	pH-metro de campo		Crison
Oxigeno	Volumetrico (iodometría)	Winkler (1889) en GOLTERMAN (1971)	
Alcalinidad	Volumétrico	GOLTERMAN (1971)	
Cloruros	Volumétrico	Mohr	
Fosfatos	Colorimétrico	Murphy y Riley (1963) en STRICKLAND y PARSON (1972)	Perkin-Elmer
Silicatos	Colorimétrico	"	"
Nitritos	"	Shinn (1941) en STRICKLAND y PARSON (1972)	"
Nitratos	"	"	"
Amonio	Colorimétrico (con reactivo Nessler)	"	"

Tabla 3.6.- Análisis fisicos y quimicos efectuados, métodos e instrumentos.

Básicamente se siguió el método de SCOR-UNESCO (1966) para la determinación de clorofila a.

A los extractos filtrados se les midió la absorbancia a 750, 665 y 430 mm, utilizando un espectrofotómetro UV-vis PERKIN ELMER 551S.

Para el cálculo de la concentración de clorofila "a" se utilizó la ecuación de MARGALEF, (1972):

$$\text{clorofila } a = 12.6\ D_{665}\ V/B,$$

donde

D_{665}= Densidad óptica a 665 mm (en cubeta de 1 cm de recorrido óptico).
V = volumen final del extracto en mililitros.
B = volumen del filtrado en litros.

Para obtener una idea rápida de las variaciones en la composición cualitativa de los pigmentos, se calculó el cociente D_{430}/D_{665} (Indice de MARGALEF)

donde D_{430} = D.O. a 430 nm.
D_{665}= D.O. a 665 nm.

3.3.1.6.- Determinación del carbono asimilado (producción primaria)

La técnica utilizada fue la de adición de ^{14}C a botellas transparentes y opacas (STEEMAN-NIELSEN, 1952) de 250 c.c.

Dentro de cada botella se inyectó 1 ml de disolución radiactiva (5 μ Ci ^{14}C) mediante una jeringuilla. Las botellas se taparon y movieron sin agitar, para distribuir uniformemente el trazador.

A continuación, se incubaron durante 2 horas. Tras la incubación, las muestras fueron recogidas y almacenadas en la oscuridad bajo refrigeración hasta su posterior tratamiento en el laboratorio.

De cada botella se filtraron fracciones de 150 ml a través de un filtro de membrana Millipore HA de 0.45 μm de poro, mediante bomba de vacío.

Una vez filtrada la muestra, se continuaba filtrando con HCl, 0.1N, para eliminar ^{14}C pasivamente incorporado por adsorción sobre las células y el filtro.

Los filtros se guardaron en viales para centelleo líquido, se secaron en estufa a 60-70°C y, una vez totalmente secos, se les añadió el disolvente de centelleo: 5 g de PPO más 0.3 g de dimetil - POPOP, en buscar tolueno.

Se empleó un contador de centelleo líquido (BECKMAN LS 1800). La radiación β emitida por el ^{14}C se midió en cada vial durante 10 minutos.

Para conocer la cantidad de carbono total asimilado por el fitoplancton por unidad de tiempo, se utilizó la fórmula siguiente: (VOLLENWEIDER, 1969)

$$^{12}C_{asimilado} = (^{14}C_{asimilado} / ^{14}C_{añadido}) \times {}^{12}C_{disponible} \times F \times tiempo^{-1}$$

El ^{12}C inorgánico disponible se calculó a partir de la alcalinidad y el pH (ROS, 1979). Se utilizó F = 1.05 (para corregir la absorción ligeramente mayor del ^{12}C que del ^{14}C por el fitoplancton). (ROS, 1979).

3.3.1.7.- Identificación y recuento de células de fitoplancton

Para la enumeración de organismos se siguió la técnica de UTERMÖHL (1958): examen al microscopio invertido (WILD M40) de un volumen determinado de muestra, mediante sedimentación en una cubeta de fondo móvil.

Las muestras de agua fijadas con lugol se agitan repetida y suavemente con el objeto de uniformizar su contenido y evitar la disgregación de las especies organizadas en colonias. Un volumen de 50 ó 25 ml (dependiendo de la concentración) se dejaba sedimentar durante

un tiempo (en horas) que fue superior a tres veces la altura de la cámara en centímetros, según las recomendaciones de MARGALEF (1969).

Para efectuar el censo de los organismos más abundantes se examinaba en gran aumento (x400) un transecto del fondo de la cubeta equivalente a 1.5 mililitros de muestra. En casos de densidad de población muy elevada, se recorrieron superficies menores.

A continuación, y a menor aumento (x100), se examinaba un 50% de la superficie total de la cubeta, para reconocer y anotar la presencia de especies poco frecuentes y que fueron, a la vez, visibles por su tamaño grande.

No se contaron las células que se observaron como muertas. Los censos se expresaron en número de células/ml.

Es evidente que en este método cabe introducir errores diferentes en todo el proceso por variación del volumen de muestra, por no haberse sedimentado todos los organismos debido a corrientes de convección en la cámara (NAUWERCK, 1963), debido a la distinta turbidez y materiales suspendidos en las muestras, o al método de contaje, y por la subjetividad del contador ya que introduce elementos de cansancio y ganancia de pericia a lo largo del tiempo (GOMEZ FIGUEIRAS, 1985).

En cuanto a la identificación de los individuos, existen numerosos problemas (MARGALEF, 1973).

A pesar de las dificultades existentes, éste es el método más ampliamente usado por los fitoplanctólogos. Se utilizaron diversas claves como ayuda básica para la identificación, completada por artículos. (BOURRELLY, 1966, 1968, 1970; BUTCHER, 1967; DODGE, 1982; HENDEY, 1964; MARGALEF, 1955; THIENEMANN, 1962, 1975).

3.3.1.8.- Indices de la estructura de la comunidad de fitoplancton

Para obtener una estimación de la variedad y equitatividad de la distribución de especies, se calculó para cada muestra el índice de diversidad (D) de Shannon-Weaver según la fórmula:

$$D = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i$$

donde p_i es la frecuencia relativa de la especie i y n es el número de especies. Este índice es uno de los que menos depende del número de individuos por muestra (SANDERS, 1968; WOLFF, 1973) y comparándolo con los demás índices tiene buenas propiedades estadísticas (HUTCHESON 1970; HEIP y ENGLES, 1974).

Otro índice utilizado ha sido el de diatomeas/diatomeas +dinoflagelados. Este cociente indica según MARGALEF (1975) la importancia relativa de dos tipos biológicos fundamentales de adaptación al plancton; es un índice del efecto combinado de la turbulencia y de la concentración de nutrientes y, puesto que estos dos factores gobiernan la cantidad de fitoplancton, viene a mostrar una correlación positiva significativa con la densidad total de células.

Como índice de uniformidad se ha utilizado (PIELOU 1966):

$$J = H'/\log_2 S'$$

siendo H' la diversidad y S' el número de especies.

3.3.2.- **Métodos estadísticos**

Uno de los problemas frecuentes que hemos de abordar los ecólogos en el estudio de las relaciones entre elementos bióticos y abióticos que integran un ecosistema lo constituye el gran número de variables (por lo menos a priori) que es necesario medir, interpretar e interrelacionar.

Los métodos estadísticos que utilizamos son varios, desde estadísticos sencillos como medias (M), desviaciones típicas (D) y medidas de variación relativa de los parámetros (D/M), hasta los complejos análisis multivariantes de componentes principales y rectas de regresión.

Para valorar la significación estadística de los cambios ocurridos en cada parámetro medido -en cada estación de muestreo- tanto a lo largo del tiempo (meses de muestreo), como del espacio (puntos de muestreo) en los distintos momentos de marea en los que se realizaron las medidas, se utilizó el análisis de la varianza jerarquizado: con dos fuentes de variación, una de ellas anillada. Las fuentes de variación fueron los meses de muestreo y los puntos (masas de agua, para cada estación). Estas masas de agua se podían encontrar en distintos

momentos de marea (anillamiento). En el caso de los parámetros físicos y químicos, las medidas se realizaron en tres momentos de marea: bajamar, media marea subiendo y pleamar. Para los parámetros biológicos sólo se realizaron medidas en bajamar y pleamar.

El análisis de la varianza permite comparar varias medias observadas, es decir, comprueba la significación de la diferencia entre medias muestrales. Esta técnica recibe este nombre porque la prueba de comparación de K medias se basa en el cálculo de la varianza entre dichas medias. Este análisis se lleva a cabo en dos etapas:

1.- Se comprueba la hipótesis nula de que las muestras proceden de la misma población, o de varias poblaciones con diferentes medias.

2.- Se procede entonces a realizar ciertas comparaciones elegidas, por ejemplo entre pares o grupos de medias muestrales.

Para trazar las dependencias e independencias entre las variables medidas, calculamos el coeficiente de correlación simple de PEARSON, que indica el grado con que una distribución conjunta de dos variables se adapta a una línea recta. Cuando ambas variables se distribuyen normalmente mide la intensidad de la relación. En determinados casos, calculamos la recta de regresión entre dos variables. Según ESTRADA y VALLESPINOS (1975) es necesario realizar repetidos estudios para determinar el rango de validez de ecuaciones de este tipo.

Cuando se requiere analizar conjuntamente todas las variables medidas, o bien el número de éstas es muy elevado, resulta imprescindible hacer uso de las técnicas multivariantes que se caracterizan precisamente por operar en espacios n-dimensionales.

Entre las numerosas técnicas multivariantes las aquí usadas fueron las siguientes:

1) Análisis factorial.
2) Análisis de regresión múltiple.

1) El <u>análisis factorial</u> multivariante que agrupa a un conjunto de técnicas de ajuste lineal, tiene como objetivo encontrar una imagen simplificada de la información contenida en los datos de partida, es decir, efectuar un resumen de forma

comprensible de una gran masa de datos de partida de difícil manejo y en la que existe una redundancia de información. El procedimiento es fundamentalmente de síntesis y únicamente descriptivo, aunque con la ventaja de la objetividad. Los cálculos van encaminados a pasar de un espacio geométrico de numerosas dimensiones (tantas cuantas variables se midan) a otro más reducido, de más fácil interpretación con una pérdida de información mínima y controlada. La técnica de análisis factorial empleada en este trabajo, aplicada a los datos, fue el análisis de componentes principales (ACP). Este análisis nos permite una síntesis en dos etapas. La primera consiste en la extracción, a partir de la matriz de correlación entre variables, de algunos ejes principales, cada uno cargado de una parte de la varianza total de la matriz. La importancia de una variable sobre cada eje principal está indicada por las "saturaciones" de esta variable sobre los diferentes ejes. A partir de estos resultados se puede obtener una representación gráfica de las relaciones entre las variables, en los ejes tomados dos a dos. En una segunda etapa se efectúa el producto de la matriz de los datos de partida por la matriz de las saturaciones. Esto viene a ser un cálculo, para cada muestra en que se miden las variables, de una cota o coordenada para cada eje, basada en el grado de significación de las diferentes variables y en el valor de las mismas en la muestra considerada, (HOPE, 1968; RAMIREZ, 1972; DAGET, 1976; PESSON, 1979).

El ACP ha sido usado para describir ciclos hidrográficos anuales (FLOS, 1979) y también a la ecología del fitoplancton (MARGALEF Y GONZALEZ BERNALDEZ, 1969; BLASCO, 1971; LEVANDOWSKY, 1972; ALLEN Y KOONCE, 1973), ESTRADA, 1978, 1982A, 1982B, 1984; GOMEZ FIGUEIRAS, 1985; URRUTIA, 1986).

En esta memoria hemos utilizado el ACP, para dos tipos de conjuntos de variables:

-Variables físicas y químicas.
-Variables biológicas.

El ACP, así como otras técnicas de ordenación, está sujeto a una serie de problemas, especialmente cuando las relaciones entre las variables no son lineales (IBAÑEZ, 1973). No obstante si lo

que se pretende es, básicamente, examinar las fuentes de variación, encontrar y discernir las tendencias generales, poca importancia tiene el que no se cumplan los requisitos previos (LEGENDRE & LEGENDRE, 1979; MATTA & MARSHALL, 1984).

En algunas ocasiones, en la representación gráfica de los resultados del ACP, resultó más práctico trabajar con coordenadas relativas. Previamente realizamos una traslación de ejes para evitar los valores negativos, situando el 0 en el valor más negativo.

2) El análisis de regresión múltiple tiene por objeto el estudio de las relaciones entre numerosas variables que expliquen el comportamiento de otra considerada como dependiente. Entre los usos principales de la regresión múltiple están los siguientes:

   a.- Elaboración de una ecuación en las x que permita predecir mejor los valores de y.

   b.- Cuando hay muchas x, sirve para encontrar el subconjunto que da la mejor ecuación lineal pronosticada.

   c.- En algunos estudios, el objetivo no es el pronóstico, sino que se trata de descubrir cuáles de las variables estan relacionadas con y, y de ser posible, ordenar las variables en categorías según su importancia.

En esta Memoria se hizo uso del análisis de regresión múltiple con fines predictivos.

Para la realización de los análisis multivariantes se hizo uso del paquete de programas BMDP de la Universidad de Cantabria, en un ordenador Data General MV10000. En el ACP se usó el programa P4M y para la regresión múltiple el P2R.

En la gran mayoría de los análisis estadísticos, usamos datos transformados, para aproximar la distribución de los valores a la normalidad. La transformación utilizada ha sido la logarítmica (log(x+1)), siendo x el valor medido de cada variable. En definitiva, una transformación no es más que un cambio de escala, en el que el número original es sustituído por una función. Según ESTRADA y VALLESPINOS

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

(1975); la transformación logarítmica de los parámetros afecta ligeramente a los valores numéricos de las correlaciones, pero no modifica esencialmente la forma de las curvas.

CAPITULO 4

ESTUDIO DEL MEDIO

4.- ESTUDIO DEL MEDIO

MEDIO FISICO

El medio físico, donde se desenvuelven los procesos biológicos, es de vital importancia para la regulación de la distribución y producción fitoplanctónica (TONER, 1981).

En las rías, donde interaccionan la corriente fluvial y las de marea, se producen procesos de turbulencia, estabilidad, flujos y advección, en combinación con el viento. Esta compleja dinámica de procesos físicos constituye un punto primario de referencia para la correcta interpretación de las distribuciones observadas de los distintos parámetros químicos y biológicos.

Por otro lado, la hidrografía de la ría depende de las propiedades del agua marina que penetra en ella, del caudal del río y de las condiciones meteorológicas. Por todo ello, parece necesario un análisis, aún breve, de la situación hidrográfica a lo largo del período de estudio considerado. Los parámetros hidrográficos más importantes son la temperatura y la salinidad; así pues, comenzaremos estudiando éstos para luego pasar a algunas propiedades que de ellos se derivan como la densidad del agua (σ_T) y los diagramas T-S.

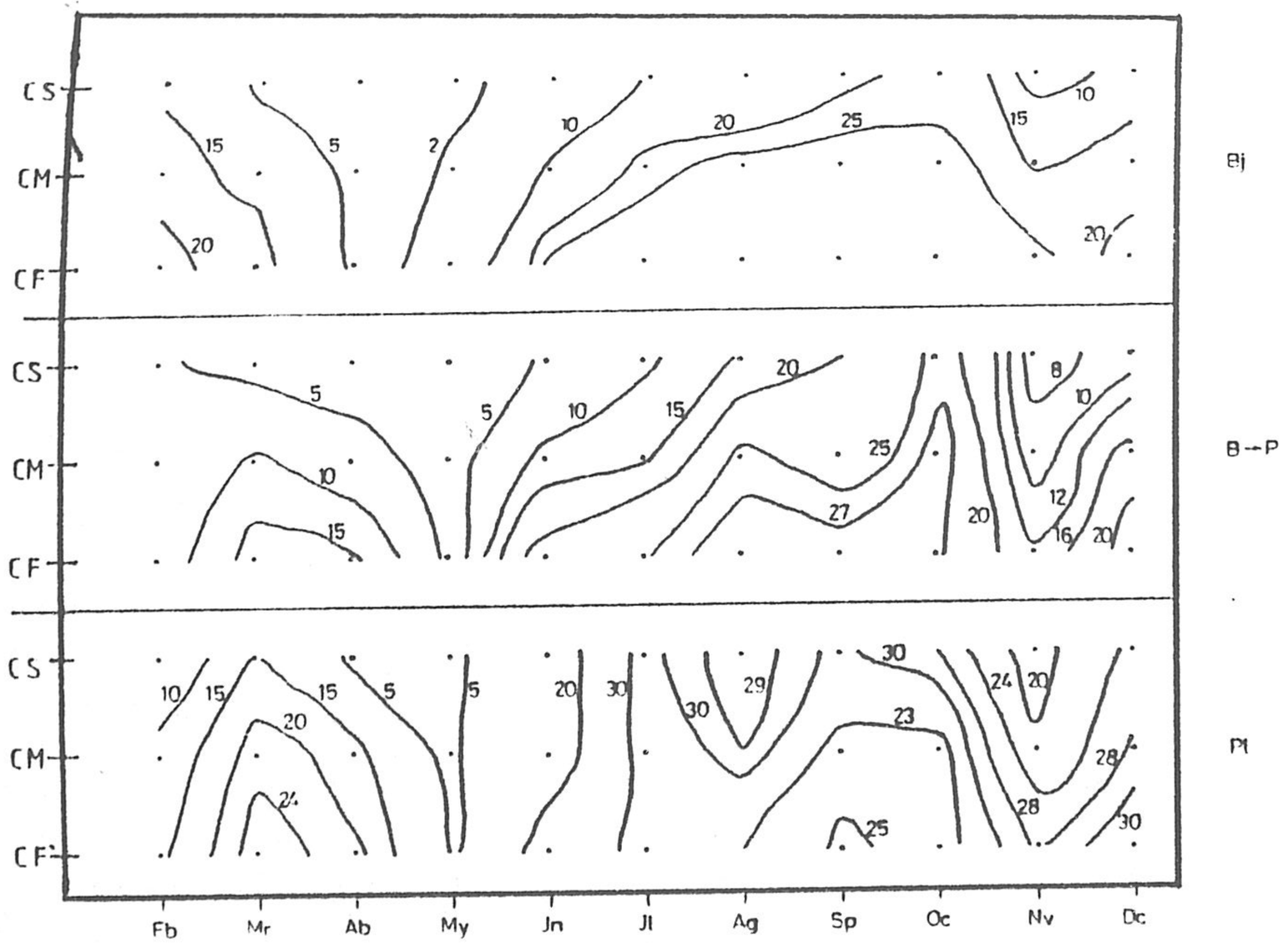
RESULTADOS

4.1.- SALINIDAD

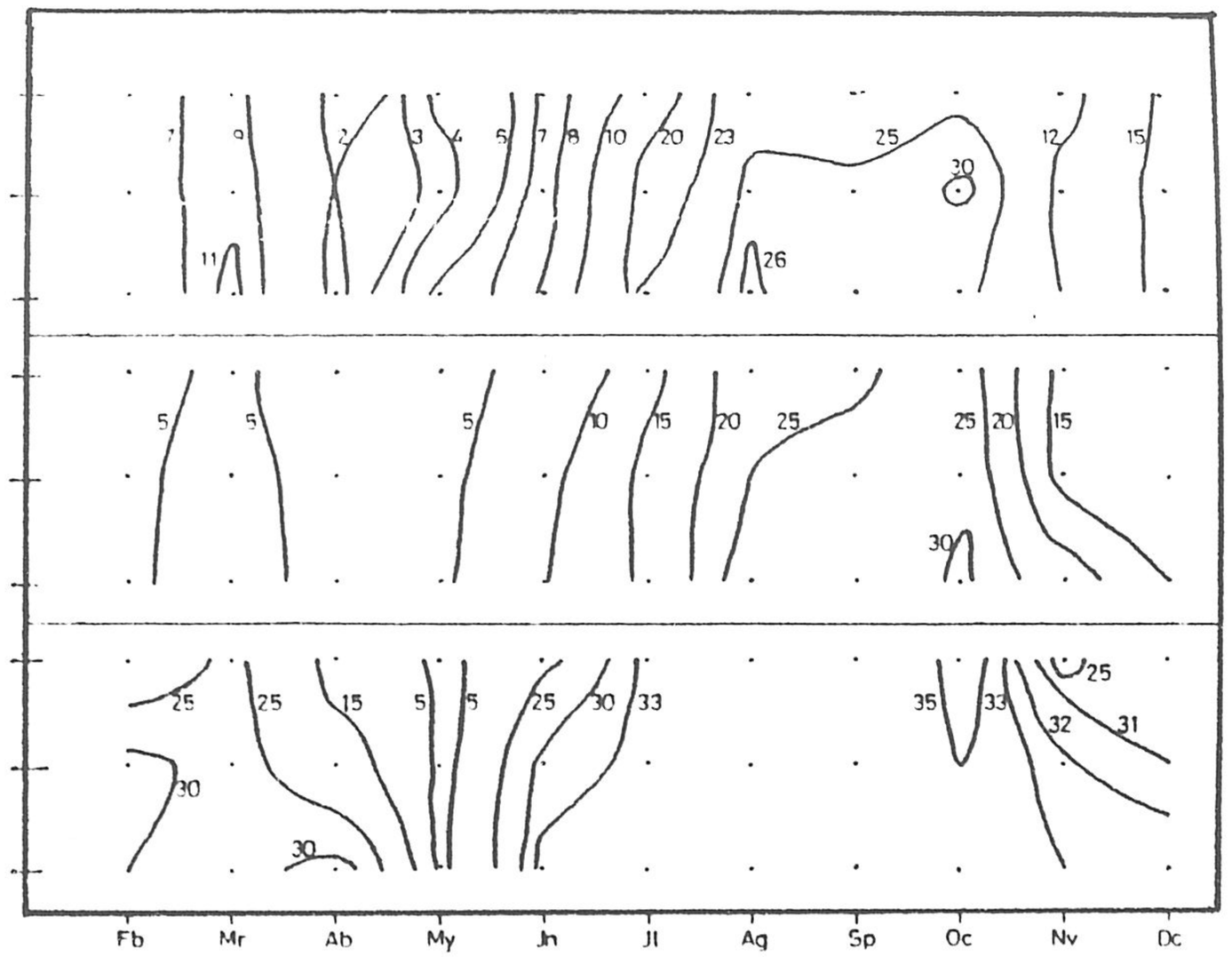
4.1.1.- Variación estacional

En la figura 4.1, se ha representado la variación estacional de la salinidad en el punto central de las tres estaciones estudiadas y en distintos estados de marea (Bajamar, Media y Pleamar).

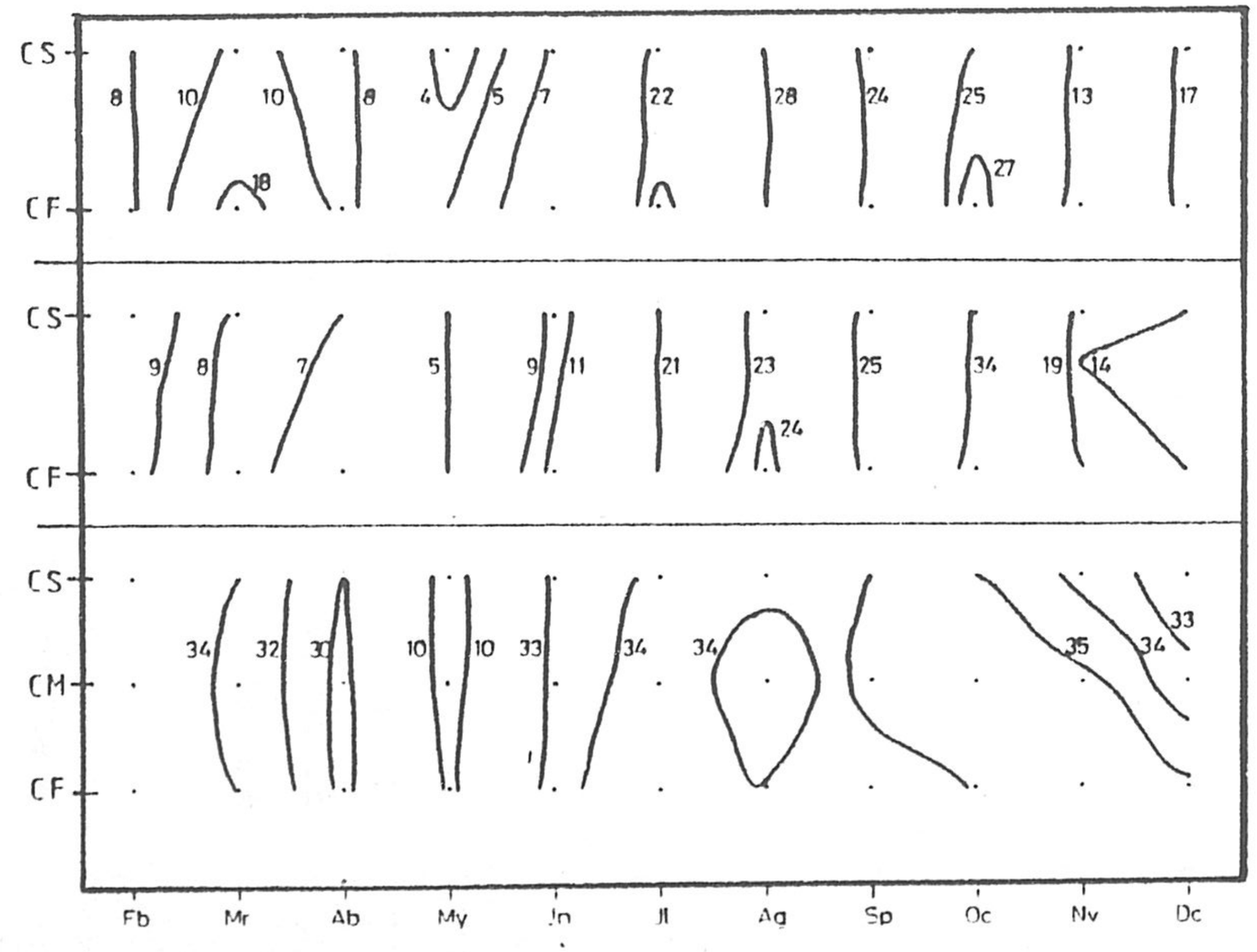
La salinidad varió en todas ellas marcadamente. Se observa una época, que abarcó el período estival y comienzos del otoño, en la que se registraron los mayores valores, superándose en algunos casos salinidades propias del Cantábrico (35.8‰). En los meses de abril y mayo se midieron los valores más bajos, indicativos de una fuerte influencia de agua dulce (0.3‰).



E-3



E-2



E-1

Bj. Bajamar

B-P Media marea

Pl. Pleamar

Figura 4.1.- Distribución temporal de la Salinidad (‰) en el punto central de las tres estaciones de muestreo y en los tres estados de marea.

La salinidad del agua de la ría está fuertemente influida por la pluviometría, por el caudal de aguas del río Pas y por la amplitud de marea (figura 4.2, Tabla 3.2). Es decir, la salinidad es el resultado de la interacción de los tres grandes medios que confluyen en los estuarios: atmósfera, continente y océanos.

En la figura 4.2 se ha representado las precipitaciones medias caídas durante los 10 días anteriores a la toma de muestras y la salinidad media superficial de toda la ría; mientras que la Tabla 3.2 muestra los caudales del río Pas en los días de muestreo.

En el mes de mayo coincidieron los más bajos valores de salinidad con los máximos de precipitación. Por otra parte, los máximos anuales de salinidad se correspondieron con los mínimos de precipitación y de caudal (septiembre y octubre).

Se puede deducir que la salinidad responde con rapidez a las condiciones meteorológicas y a los cambios de caudal. Efectivamente, en noviembre cuando aumentaron las precipitaciones y el caudal, de nuevo la salinidad disminuyó.

4.1.2.- **Variación espacial**

En la figura 4.3 se presentan los valores de las salinidades en cada estación en agua de superficie.

Estudiadas estas distribuciones de salinidad, teniendo presente el estado de marea en que se realizaron las medidas, la profundidad de la estación, su situación geográfica dentro de la ría y los factores meteorológicos, podemos observar que:

a) El agua dulce aportada por el río Pas y por las lluvias afecta a toda la ría. Así, en mayo, con caudales de 40.69 m^3/seg. (el día de muestreo) y precipitaciones de 30.9 mm, los valores de salinidad en la ría estuvieron comprendidos entre 1.28‰ en superficie durante la bajamar para la estación 3 y 6.4 en el fondo en pleamar para la estación 1. Mientras que en septiembre, con caudales de 1.68 m^3/seg. y precipitaciones 2.4 mm, los valores oscilaron desde 25.01‰ en la estación 3 en bajamar a 35.1‰ en la estación 1 en pleamar.

PLUVIOSIDAD
(mm/dia)

SALINIDAD
(‰)

30

20

10

30

20

10

En Fb Mr Ab My Jn Jl Ag Sp Oc Nv Dc

51

Figura 4.2.- Variación de la pluviosidad media en los 10 dias anteriores al muestreo (barras) y de la salinidad media en superficie en la ría de Mogro el día de muestreo (---).

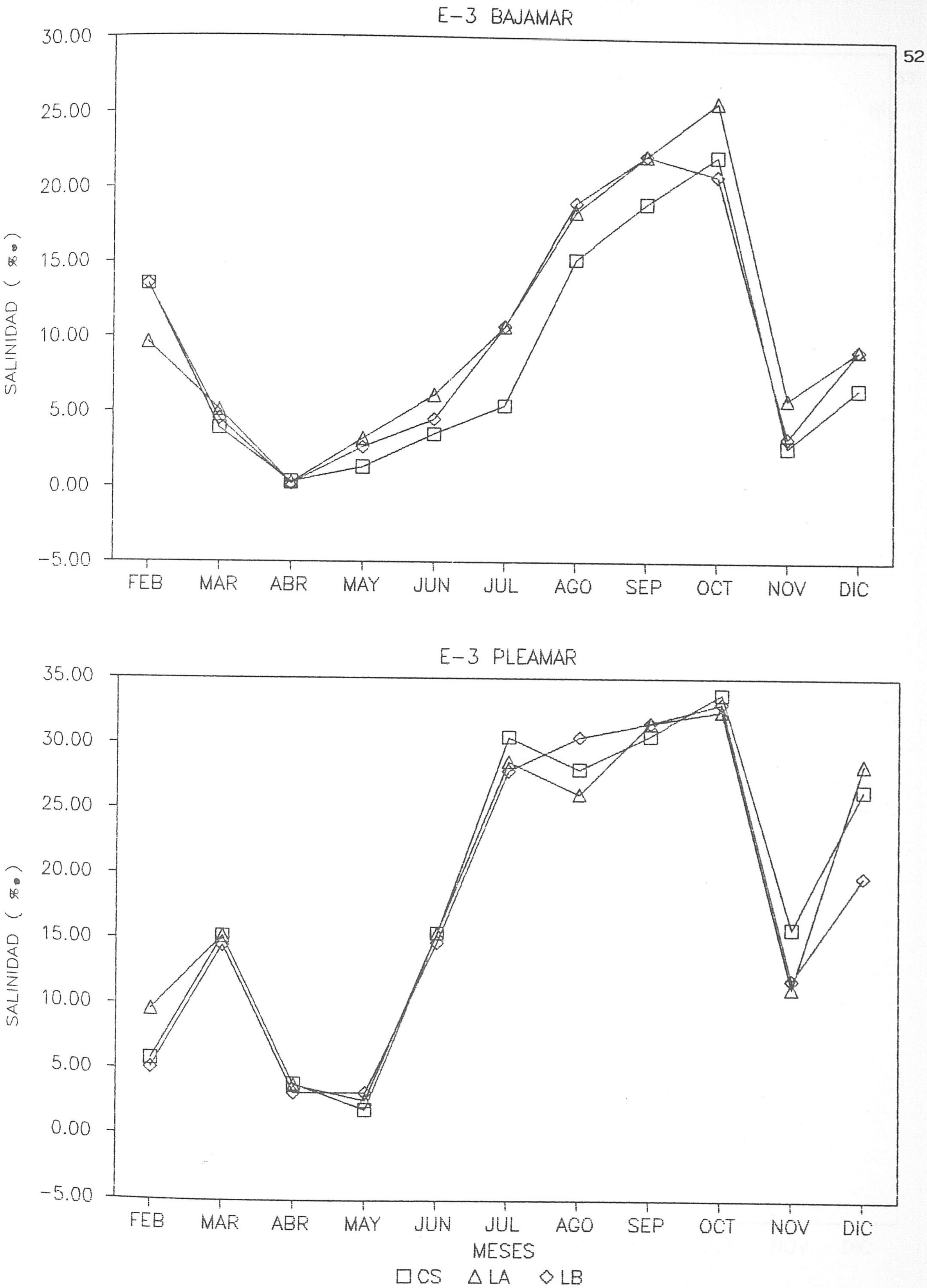


Figura 4.3. Variación temporal de la salinidad en superficie en cada una de las estaciones de muestreo y en los momentos de marea de Bajamar y Pleamar.

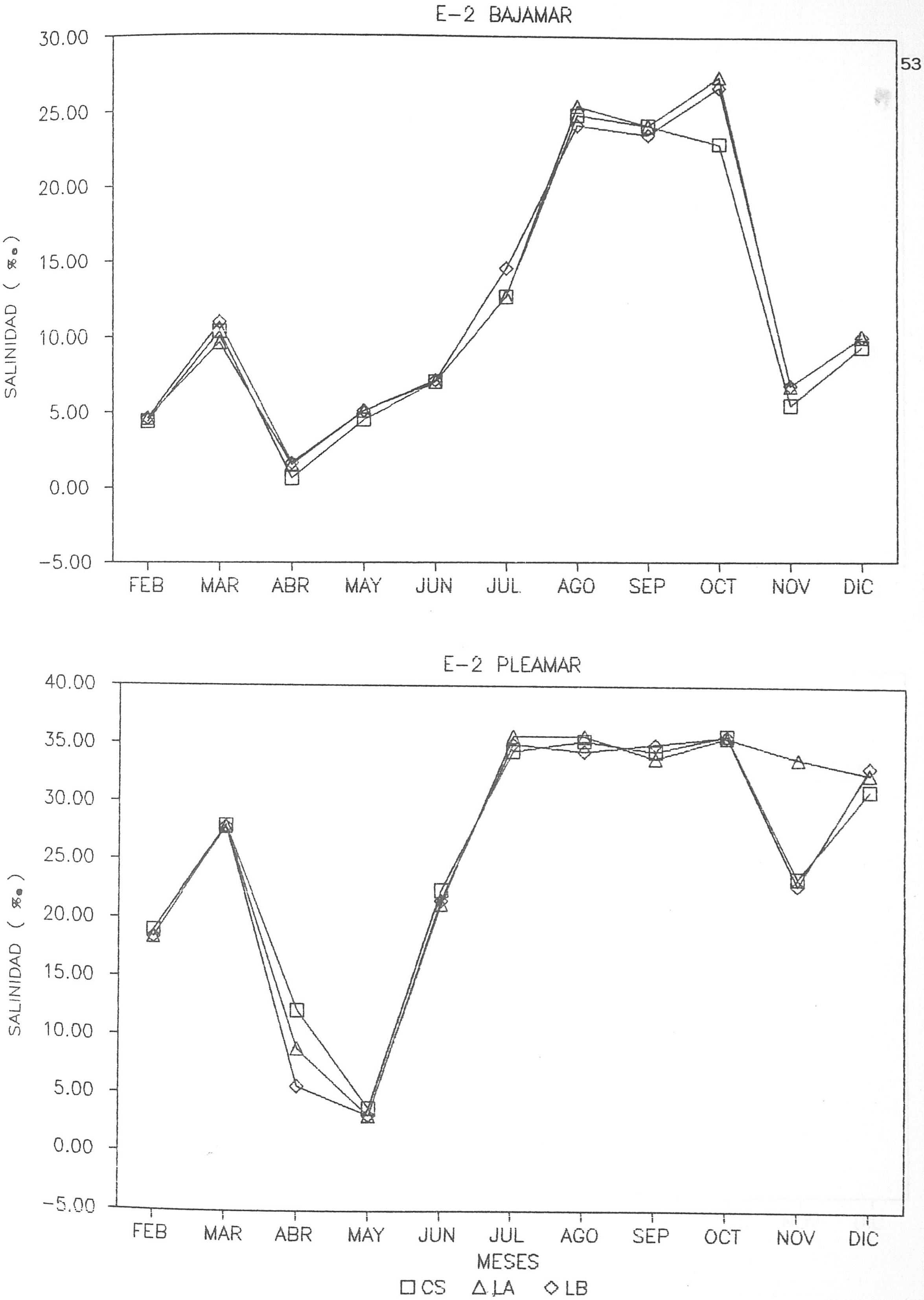


Figura 4.3.- Continuación.

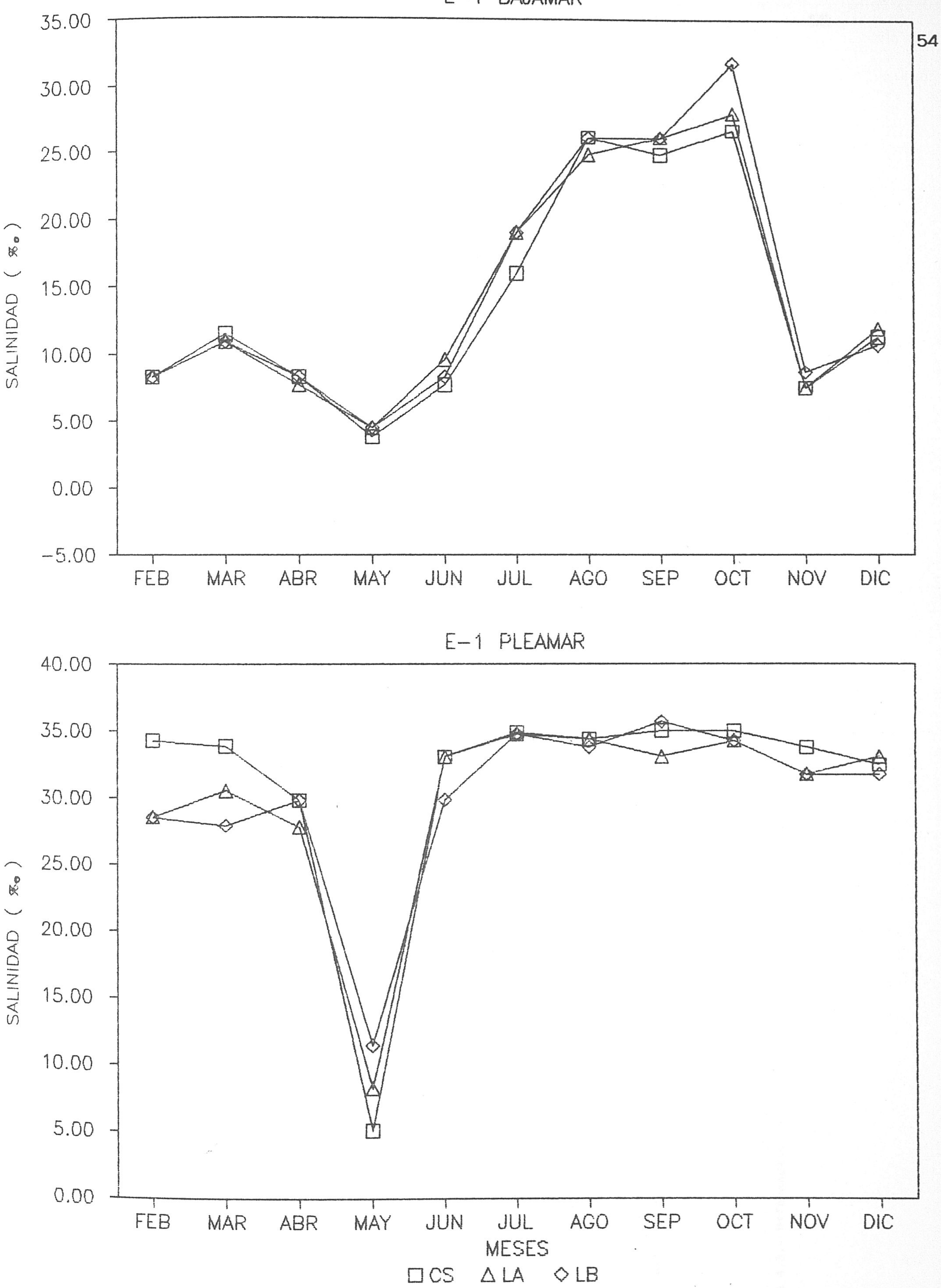
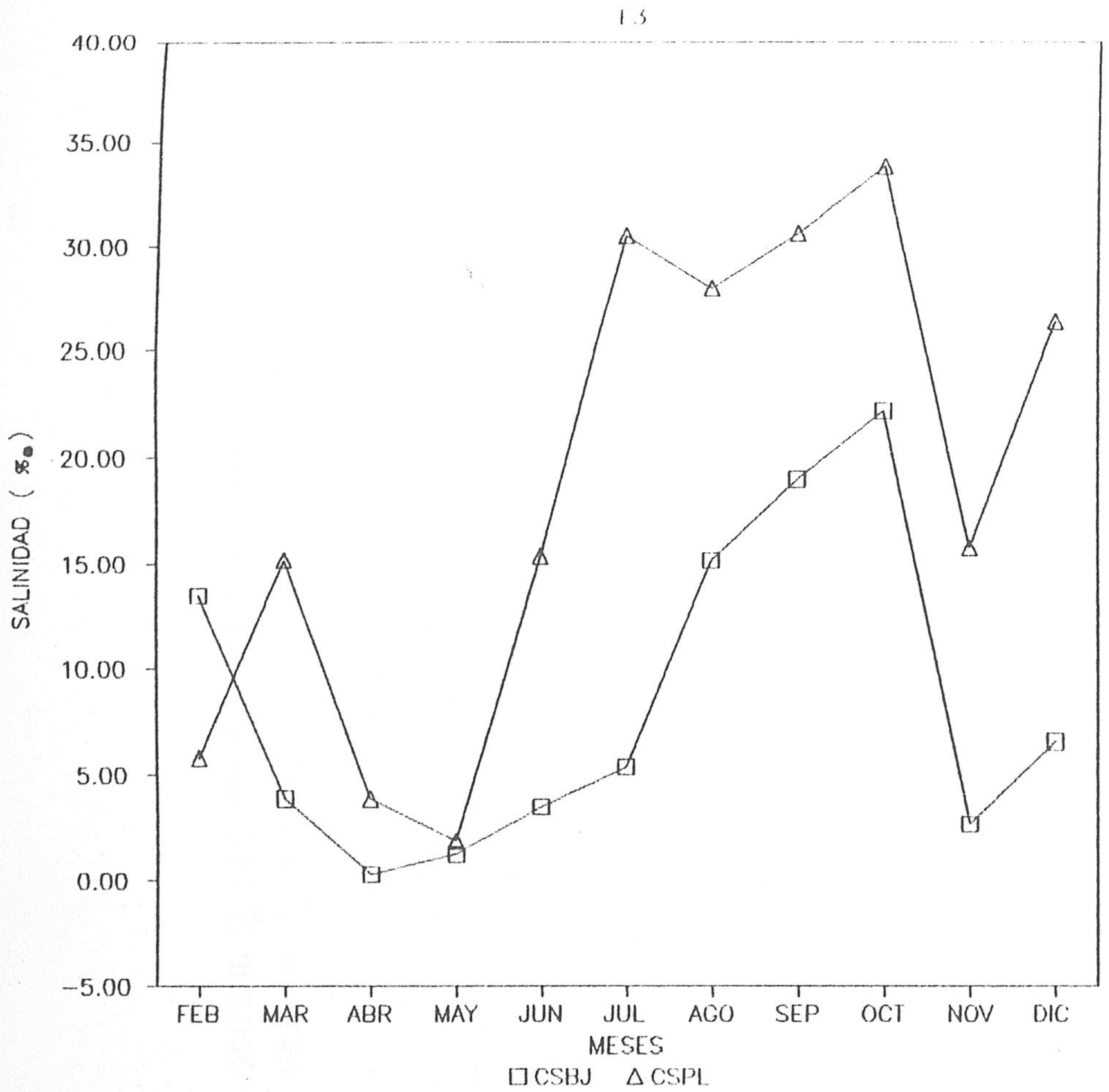


Figura 4.3.- Continuación.



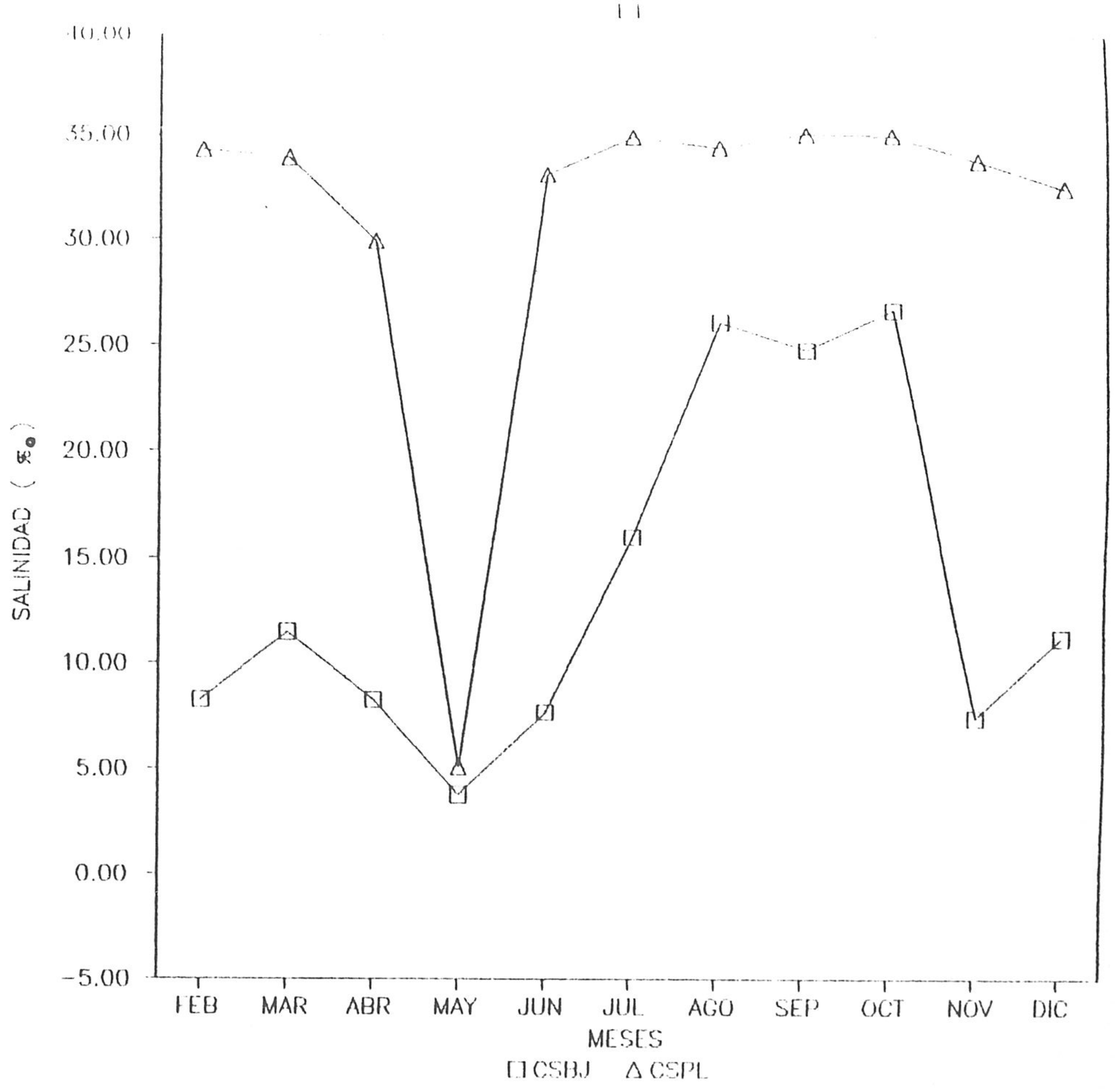


Figura 4.3.- Diferencias de salinidad (‰) en el punto central entre Bajamar y Pleamar a lo largo del ciclo anual.

b) Con independencia de la ubicación geográfica de la estación de muestreo y de la profundidad, el valor de la salinidad está íntimamente ligado con el estado de marea en que se realizó la medida y es decisivo a la hora de valorar la salinidad en una estación dada y a una profundidad determinada. La Tabla 4.1 muestra las diferencias de salinidad entre bajamar y pleamar, para cada estación de muestreo. Excepto en el mes de mayo en la estación 2 y en junio en la estación 3, el aumento es considerable, siendo a veces del orden de 31.8 unidades para febrero en la estación 2.

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto, los valores de la figura 4.3, representan una imagen dinámica de la distribución de la salinidad con el espacio y nos indican cómo el campo de variabilidad de la salinidad respecto del espacio es muy amplio en función de los factores comentados.

4.1.3.- **Variación con la profundidad**

En todas las estaciones, cualesquiera que sean las condiciones oceanográficas y meteorológicas en las que se realizaron las medidas, la salinidad varió con la profundidad (Figura 4.1).

De los perfiles observados se pueden definir varias épocas:

a) Meses en los que aparecieron fuertes gradientes superficie-fondo: febrero, marzo, junio, noviembre y mayo.

b) Meses en los que los perfiles fueron menos acusados: abril y mayo.

c) Otro grupo de meses en los que además de presentar perfiles poco acusados, aparecieron una serie de inestabilidades en el agua y, los perfiles se invirtieron apareciendo aguas más salinas en superficie: julio, agosto, septiembre y octubre. Durante estos meses se dieron las mayores temperaturas, el caudal del río fue menor, los coeficientes de amplitud de la marea resultaron los más altos.

Todos los datos de salinidad obtenidos a lo largo del período estudiado, fueron sometidos a análisis estadístico. El método utilizado fue

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
CS	8.00	17.30	3.55	0.64	11.89	25.13	12.83	11.54	14.54	14.10	19.81
CM	6.3	16.00	16.37	0.64	4.49	13.69	1.28	3.85	5.77	12.80	17.17
CF	6.75	13.50	20.22	1.28	-8.98	5.77	5.13	6.41	7.05	7.70	15.18
LA	1.23	16.70	3.60	-.67	9.30	17.96	7.70	8.34	7.70	6.40	19.15
LB	2.3	16.00	3.02	0.64	10.25	17.32	11.54	8.34	12.18	9.66	10.57
						E-3					
CS	20.60	23.73	11.54	-.64	15.40	21.80	11.55	10.26	17.90	17.96	23.73
CM	31.80	23.73	17.19	0.65	23.72	17.90	10.27	9.00	1.90	25.70	21.13
CF	31.20	23.73	28.92	-1.92	27.01	16.70	8.98	9.60	7.70	26.32	22.43
LA	19.80	24.37	7.51	-1.93	14.11	23.10	10.27	9.70	10.20	27.00	22.47
LB	19.79	23.09	4.17	-1.93	10.27	20.50	10.26	10.90	9.00	16.10	23.07
						E-2					
CS	26.26	22.45	27.56	1.28	31.43	18.50	8.30	10.24	9.60	26.30	21.16
CF	26.36	15.38	19.96	1.28	30.14	17.90	6.40	10.24	6.40	27.00	20.50
LA	26.25	25.70	26.21	3.85	29.50	16.00	9.60	7.02	8.30	24.30	21.16
LB	26.26	23.10	27.56	7.05	27.57	16.00	7.70	9.60	4.50	23.05	21.17
						E-1					

Tabla 4.1.- Diferencias de salinidad entre Bajamar y Pleamar

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	2356.88	589.22	20.79 *
Meses de muestreo	10	19086.4	1908.64	95.57 *
Error masas de agua	40	960.63	24.02	
Momentos del ciclo mareal	2	4494.3	2247.3	29.59 *
Masas de agua por ciclo	8	123.81	15.48	
Error mto. del ciclo	100	3710.75	37.11	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	109.62	27.41	9.46 *
Meses de muestreo	10	21201.5	2120.15	441.27 *
Error masas de agua	40	245.19	6.13	
Momentos del ciclo mareal	2	12950.8	6475.38	82.45 *
Masas de agua por ciclo	8	95.94	11.99	
Error mto. del ciclo	100	5038.63	50.39	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	27.88	6.97	1.07
Meses de muestreo	10	18612.6	1861.26	32.94 *
Error masas de agua	40	78.56	1.96	
Momentos del ciclo mareal	2	13718.1	6859.03	46.91 *
Masas de agua por ciclo	8	8	1	
Error mto. del ciclo	100	4472.31	44.72	

G.L. : Grados de libertad
S.C. : Suma de cuadrados
C.M. : Cuadrados medios
* : Significativo

Tabla 4.2. Análisis de la varianza. Salinidad

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$1.15\ 10^{-3}$	$2.89.10^{-4}$	2.81 *
Meses de muestreo	10	1.65	0.166	1608.3 *
Error masas de agua	40	$4.12.10^{-3}$	$1.03.10^{-4}$	
Momentos del ciclo mareal	2	$8.48.10^{-3}$	$4.24.10^{-3}$	19.80 *
Masas de agua por ciclo	8	$3.50.10^{-4}$	$4.39.10^{-5}$	
Error mto. del ciclo	100	$2.14.10^{-2}$	$2.14.10^{-4}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$7.47.10^{-4}$	$1.869.10^{-4}$	3.40 *
Meses de muestreo	10	1.47	0.147	2688.67 *
Error masas de agua	40	$2.19.10^{-3}$	$5.493.10^{-5}$	
Momentos del ciclo mareal	2	$1.1718.10^{-2}$	$5.859.10^{-3}$	8.84 *
Masas de agua por ciclo	8	$1.236.10^{-3}$	$1.545.10^{-4}$	
Error mto. del ciclo	100	$6.625.10^{-2}$	$6.625.10^{-4}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$2.106.10^{-3}$	$5.264.10^{-4}$	5.18 *
Meses de muestreo	10	1.3096	0.139	1376.33 *
Error masas de agua	40	$4.058.10^{-3}$	$1.015.10^{-4}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.0165	$8.285.10^{-3}$	17.086 *
Masas de agua por ciclo	8	$7.324.10^{-4}$	$9.155.10^{-5}$	
Error mto. del ciclo	100	$4.849.10^{-2}$	$4.849.10^{-4}$	

Tabla 4.4. Análisis de la varianza. Temperatura del agua.

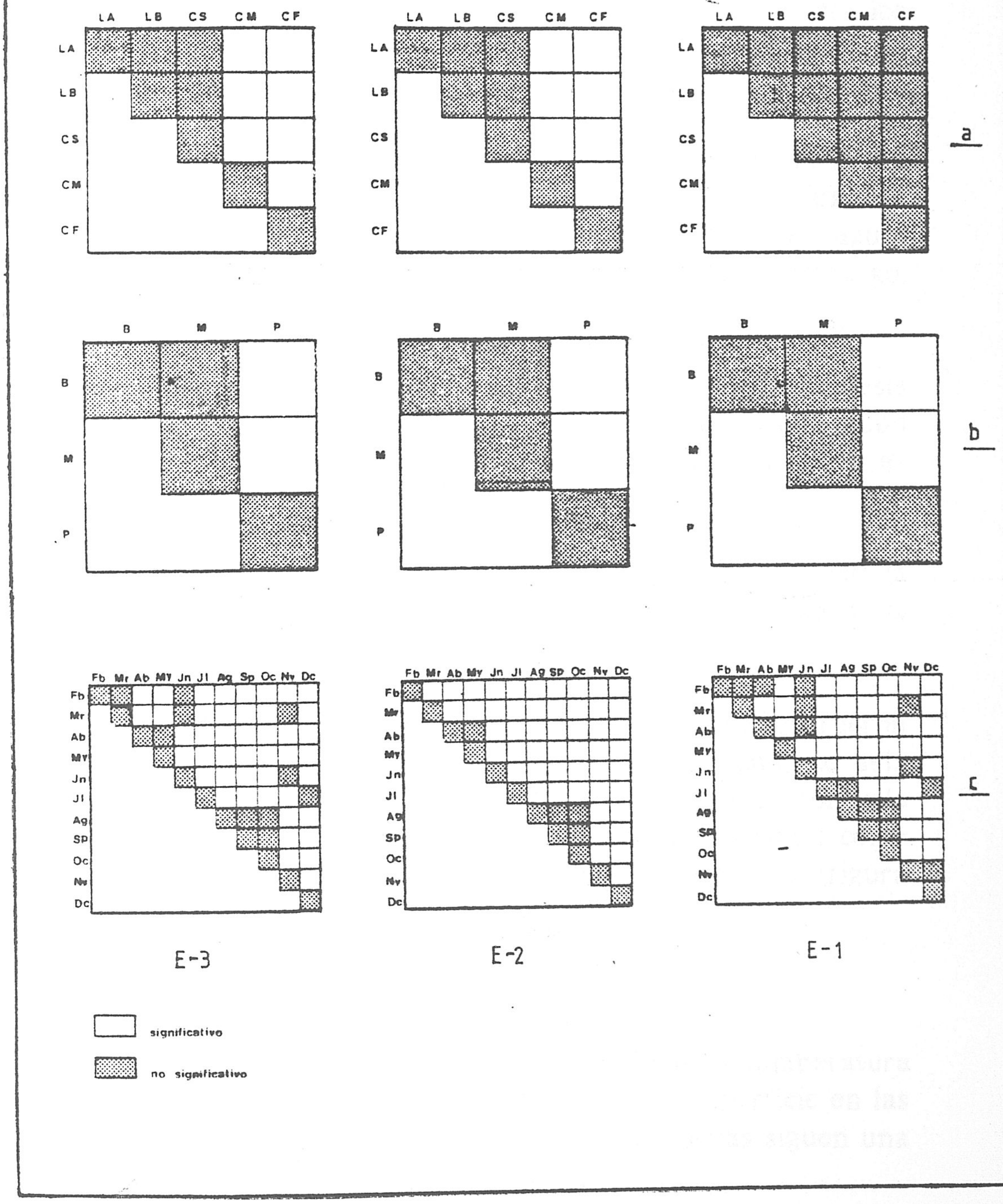


Figura 4.4.- Significacíon estadística de las diferencias entre los valores medios de la Salinidad.

el análisis de varianza jerarquizado (con dos fuentes de variación, una de ellas anillada). Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 4.2.

La menor diferencia significativa para comparar las masas de agua (puntos de muestreo) fue de 0.07; para los meses 0.1 y para los estados de marea de 0.07. Los resultados de comparar, dos a dos, cada fuente de variación se presentan en la figura 4.4.

Para las masas de agua, en la estación 3 se diferencian las aguas medias y profundas de las de superficie. En la estación 2 existen diferencias entre las tres profundidades, mientras que las aguas superficiales de litorales y centro no se diferencian entre sí. Sin embargo, en la estación 1 no hay diferencias (figura 4.4.a).

En el ciclo mareal, en las tres estaciones se rechazan las hipótesis de homogeneidad entre medias (figura 4.4.b). Ello significa que hubo diferencias entre los tres estados de marea considerados, para todas las estaciones.

En el ciclo estacional, es común para las tres estaciones la homogeneidad de los meses de agosto, septiembre y octubre y la diferencia entre éstos y el resto del año.

En las estaciones más interiores (2 y 3) también fueron homogéneos los meses de abril y mayo. Por otra parte, donde se deja sentir más el ciclo estacional es en la estación intermedia (E-2), donde la mayoría de los meses presentaron diferencias. Tanto la estación 1 como la 3 presentaron el mismo patrón de homogeneidad temporal (figura 4.4.c).

4.2.- TEMPERATURA

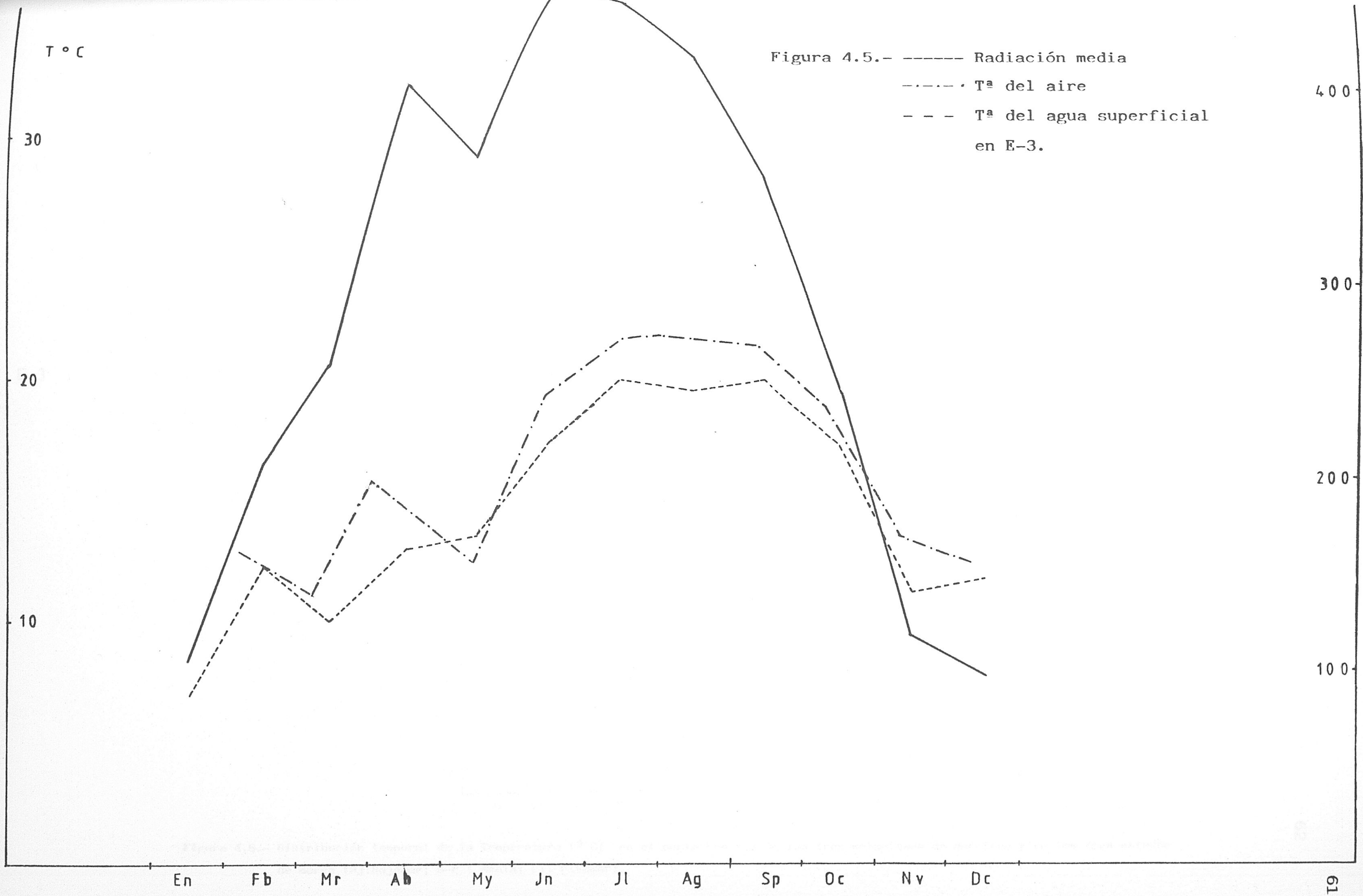
En la figura 4.5 se ha representado la variación de la temperatura media del aire, la radiación media y la temperatura de superficie en las estaciones muestreadas. Como se puede observar, las curvas siguen una evolución paralela.

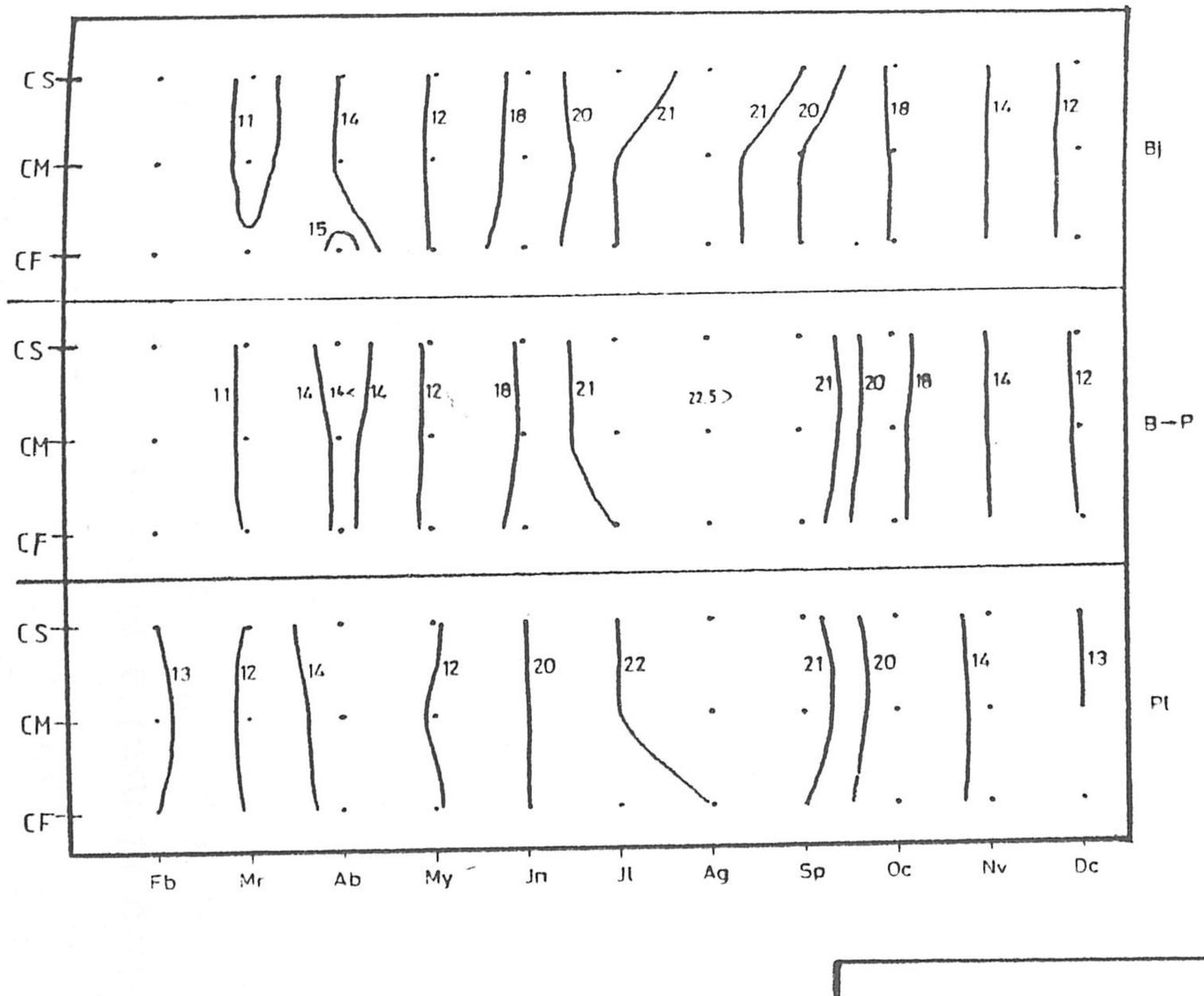
La temperatura en el estuario presentó estratificación vertical en las tres estaciones. En la figura 4.6 se muestra las variaciones de ésta a lo largo del ciclo de muestreo en las tres estaciones y en los distintos momentos de marea en los que se realizaron las medidas. Las máximas temperaturas del agua se registraron en los meses de agosto y

Figura 4.5.- ------ Radiación media

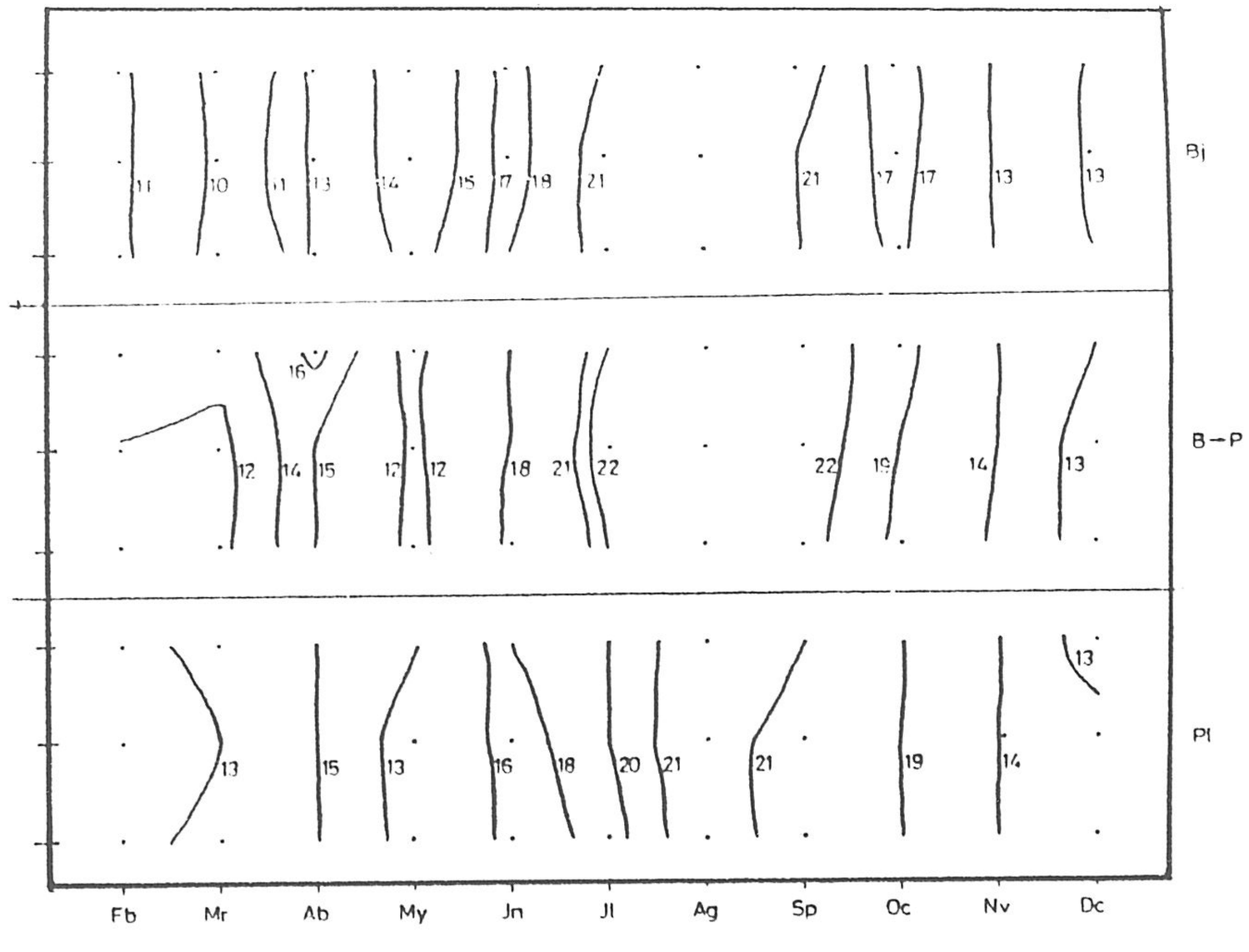
-·-·-· Tª del aire

- - - Tª del agua superficial en E-3.

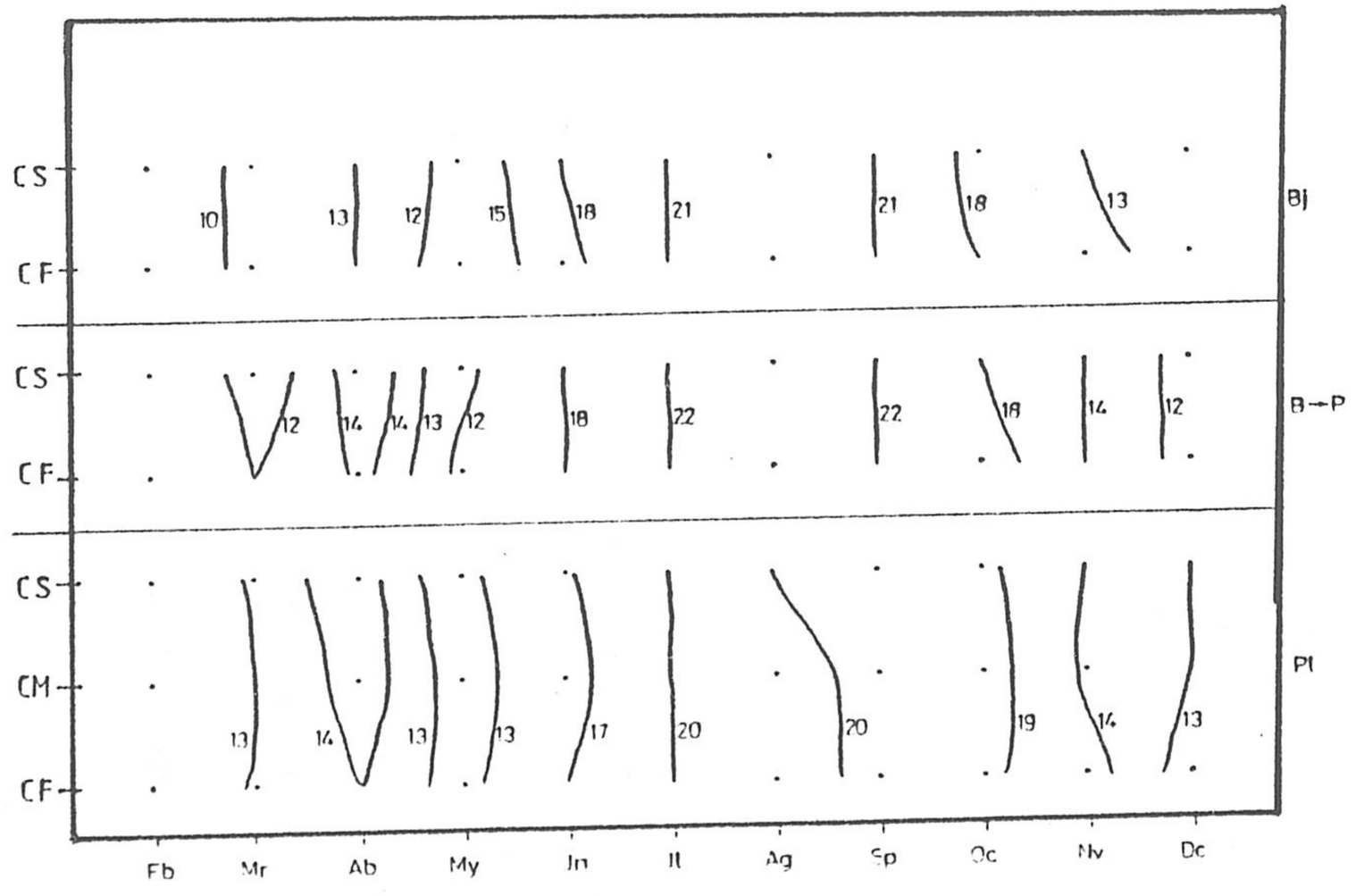




E-3



E-2



E-1

Figura 4.6.- Distribución temporal de la Temperatura (º C) en el punto central de las tres estaciones de muestreo y en los tres estados de marea (Bj:Bajamar; B-P : Media; Pl: Pleamar).

septiembre, donde llegaron a superar los 20^{o}C. La máxima medida de 23.^{o}C se obtuvo en la estación 2 durante la media marea subiendo.

Las temperaturas mínimas del agua se registraron en febrero y marzo en todas las estaciones. La mínima absoluta anual fue de 10.4^{o}C, en la estación 2 (punto medio) en bajamar.

En la Tabla 4.3 se muestran los valores medios y las dispersiones, para las tres estaciones de muestreo, de los valores de temperatura medidos a lo largo del año.

Para contrastar la significación de las diferencias entre las medias de los momentos mareales, masas de agua y meses de muestreo, para cada estación, se realizó el análisis de la varianza jerarquizado. Los resultados de dicho análisis figuran en la Tabla 4.4. De ellos se deduce que podemos rechazar la hipótesis de homogeneidad de medias tanto de las masas de agua, como de los meses de muestreo y del ciclo mareal, con una probabilidad de error $p < 0.05$.

Estudiando la menor diferencia significativa para el contraste de las medias entre la temperatura de dos meses cualesquiera, obtenemos para la estación 3 un período de temperaturas altas que abarcó los meses de julio, agosto y septiembre; mientras que en el resto siguen existiendo diferencias.

En la estación 2 no existe homogeneidad entre meses y en la 1 la hay entre julio y septiembre; junio y abril; febrero y diciembre (figura 4.7.c).

Calculada la menor diferencia significativa entre las masas de agua (figura 4.7.a) se puede deducir:

-En la estación 1 la diferencia se establece entre el agua central (M = 16.08^{o}C) y el agua de los litorales (M = 16.34^{o}C), no existiendo diferencia entre ambos litorales.

-En la estación 2 existe diferencia entre el agua superficial (litorales y centro superficie) y el agua de fondo, mientras que no la hay entre dichos puntos superficiales (M = 16.25^{o}C).

-En la estación 3 la diferencia entre medias es significativa entre los litorales y entre el litoral A y el punto medio del centro, mientras que en el resto no existe diferencia (16.4^{o}C).

		Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
E-3	M	13.03	11.21	15.67	12.15	19.53	21.63	21.93	21.35	18.80	13.83	12.66
	D	0.21	0.59	0.80	0.62	0.56	0.46	0.31	0.91	0.73	0.33	0.34
	D/M	0.02	0.05	0.05	0.05	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.03
E-2	M	12.21	11.81	14.51	13.19	17.77	21.13	22.00	21.62	18.71	13.66	12.96
	D	0.96	0.97	1.16	0.90	0.40	0.99	0.48	1.15	0.63	0.47	0.43
	D/M	0.08	0.08	0.08	0.07	0.02	0.05	0.02	0.05	0.03	0.03	0.03
E-1	M	12.85	11.97	14.21	12.28	17.47	21.00	21.63	20.82	19.10	13.97	12.81
	D	1.05	0.86	1.07	0.57	0.64	0.82	0.74	1.05	0.70	0.39	0.24
	D/M	0.08	0.07	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.04	0.03	0.02

Tabla 4.3.- Medias y desviaciones. Temperatura.

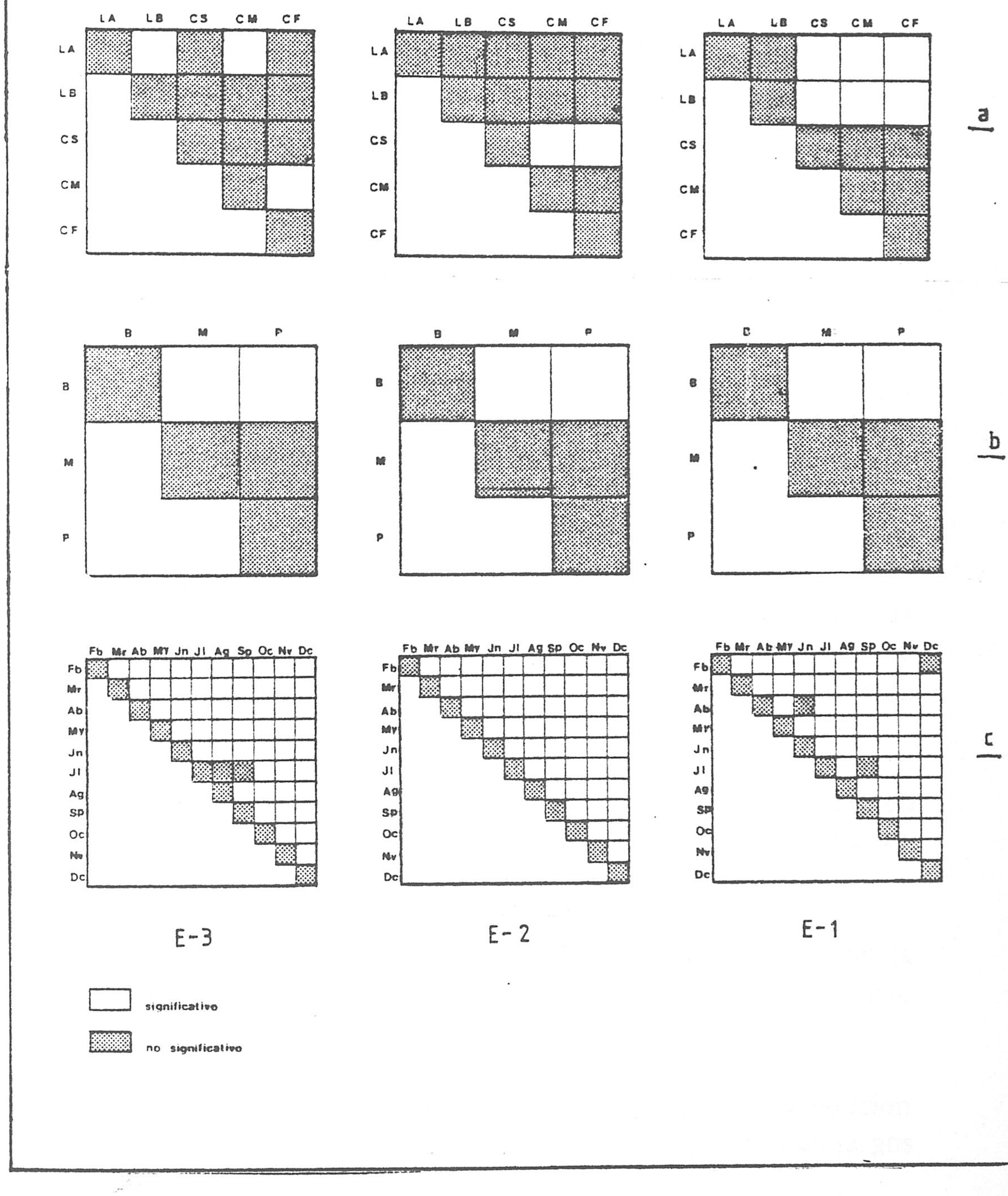


Figura 4.7.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de las Temperatura.

Con respecto al ciclo mareal, en todas las estaciones hay diferencia entre bajamar y pleamar y entre bajamar y media marea subiendo, no existiendo diferencia entre pleamar y media (figura 4.7.6).

4.3.- DIAGRAMAS T-S

La figura 4.8 muestra las propiedades -en lo que se refiere a temperatura y salinidad- de todas las muestras tomadas desde febrero a diciembre de 1985 en condiciones de pleamar.

En este diagrama hay varios rasgos destacables:

1º) La existencia de un núcleo de puntos de alta salinidad y temperatura, que corresponden a muestras de verano y principios de otoño. El examen de las salinidades demuestra que, indudablemente, en esta época existió un marcado efecto de la evaporación en la concentración de las aguas de la ría, que no es posible atribuir al transporte por la marea de aguas exteriores.

2º) Una línea de puntos entre los 13 y 14^{o}C que representa las muestras recogidas en los meses de febrero, noviembre y diciembre. En esta misma isoterma hay una dilución extrema correspondiente al mes de mayo, período de amplias lluvias.

Al representar los diagramas T-S por estaciones de muestreo (figura 4.8.1), se observa la misma situación anteriormente expuesta, es decir, una separación de las muestras por estaciones del año.

La salinidad en los estuarios es la principal responsable de la estratificación, presentando la temperatura un papel secundario (FOURNIER et al., 1984).

Las figuras 4.8.1 muestran la mayor estratificación en la estación 3 que en la 1, ya que los diagramas T-S de la estación 3 son más largos que los de la estación 1.

Existe una inestabilidad de las aguas en algunos meses y estaciones; así, por ejemplo, en el mes de mayo en las estaciones 3 y 1, donde el agua del punto medio es más fría que las de superficie y fondo. De la misma manera, aparecen inestabilidades en la estación 1 para los meses de junio y noviembre.

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

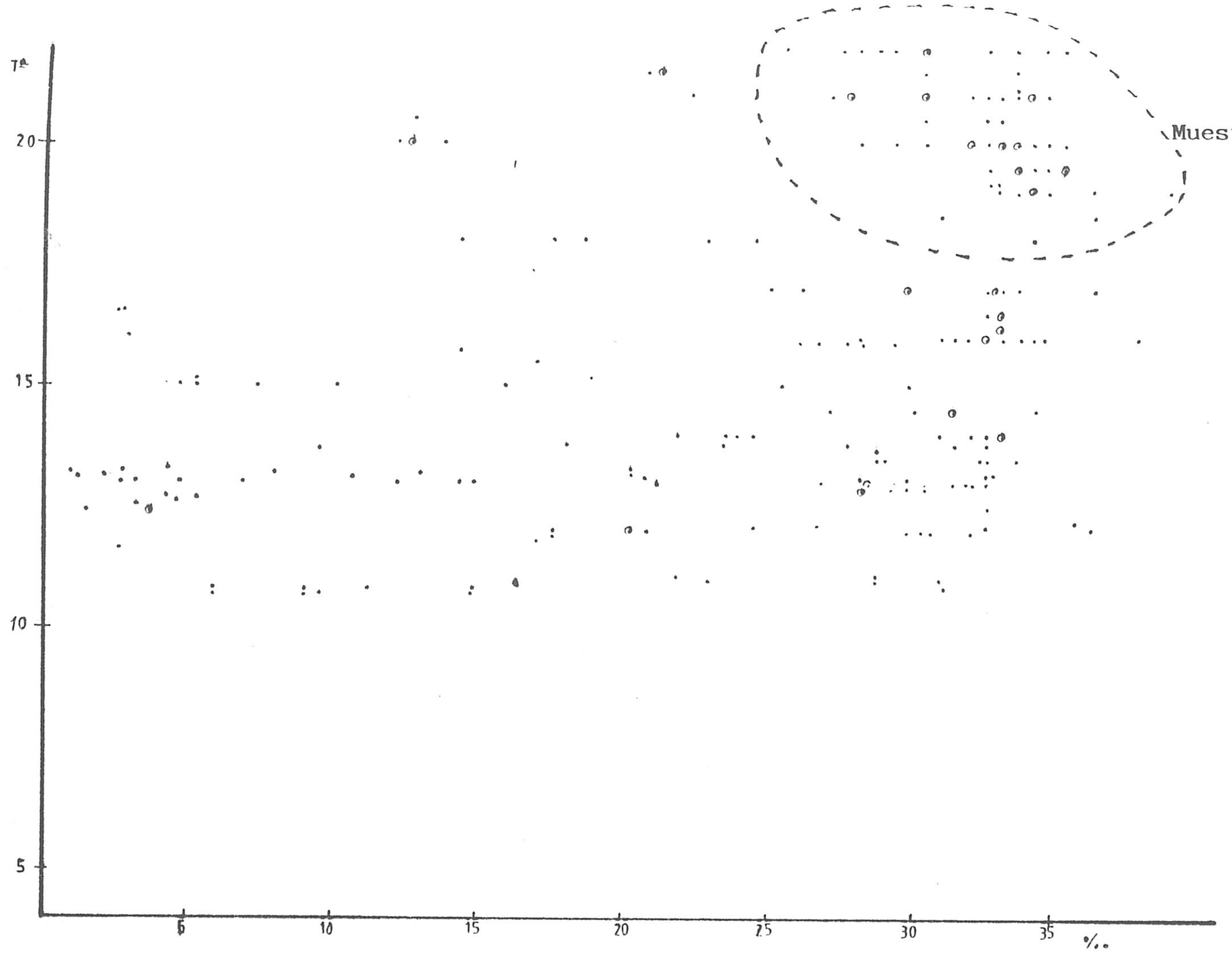
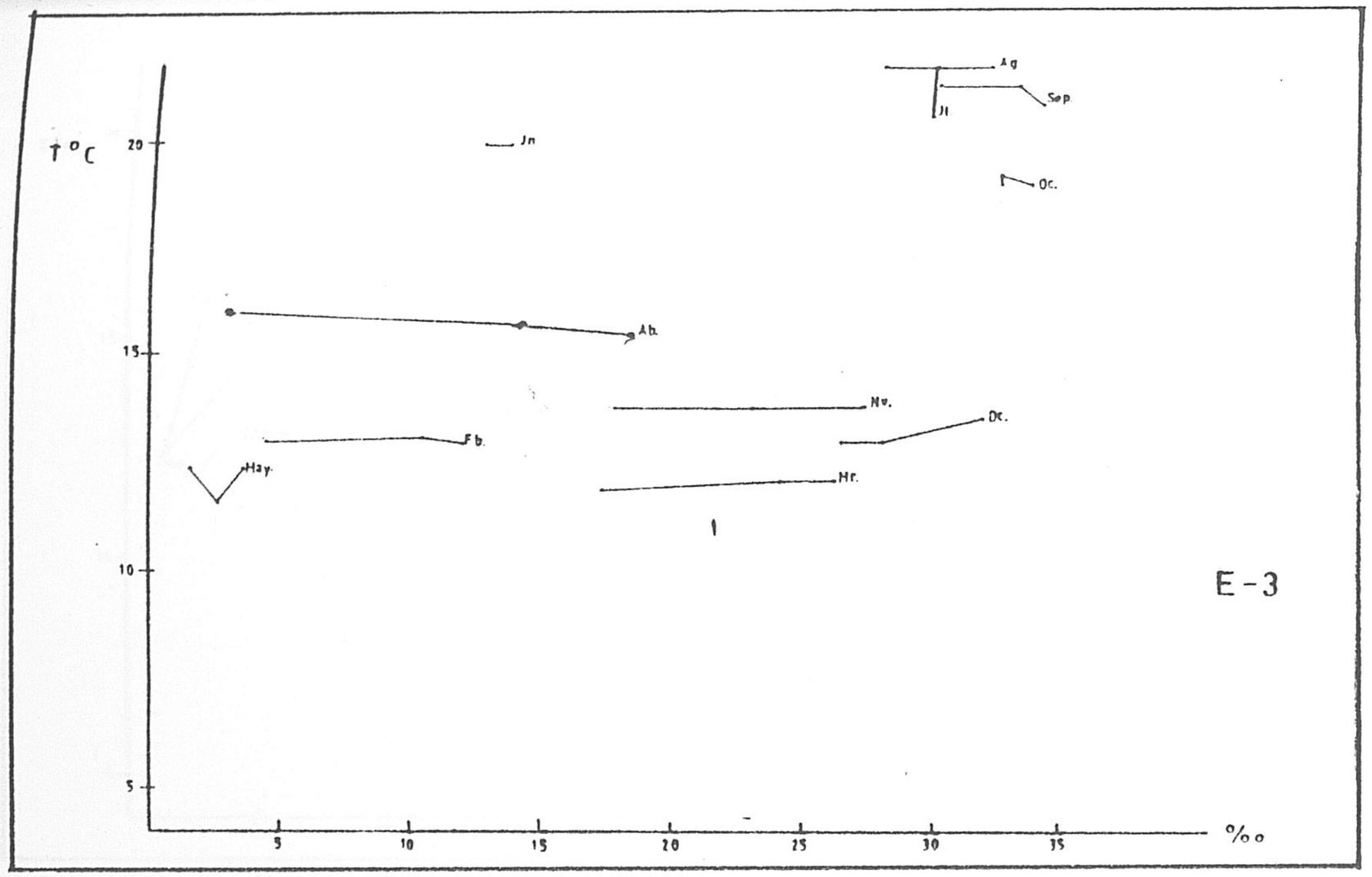
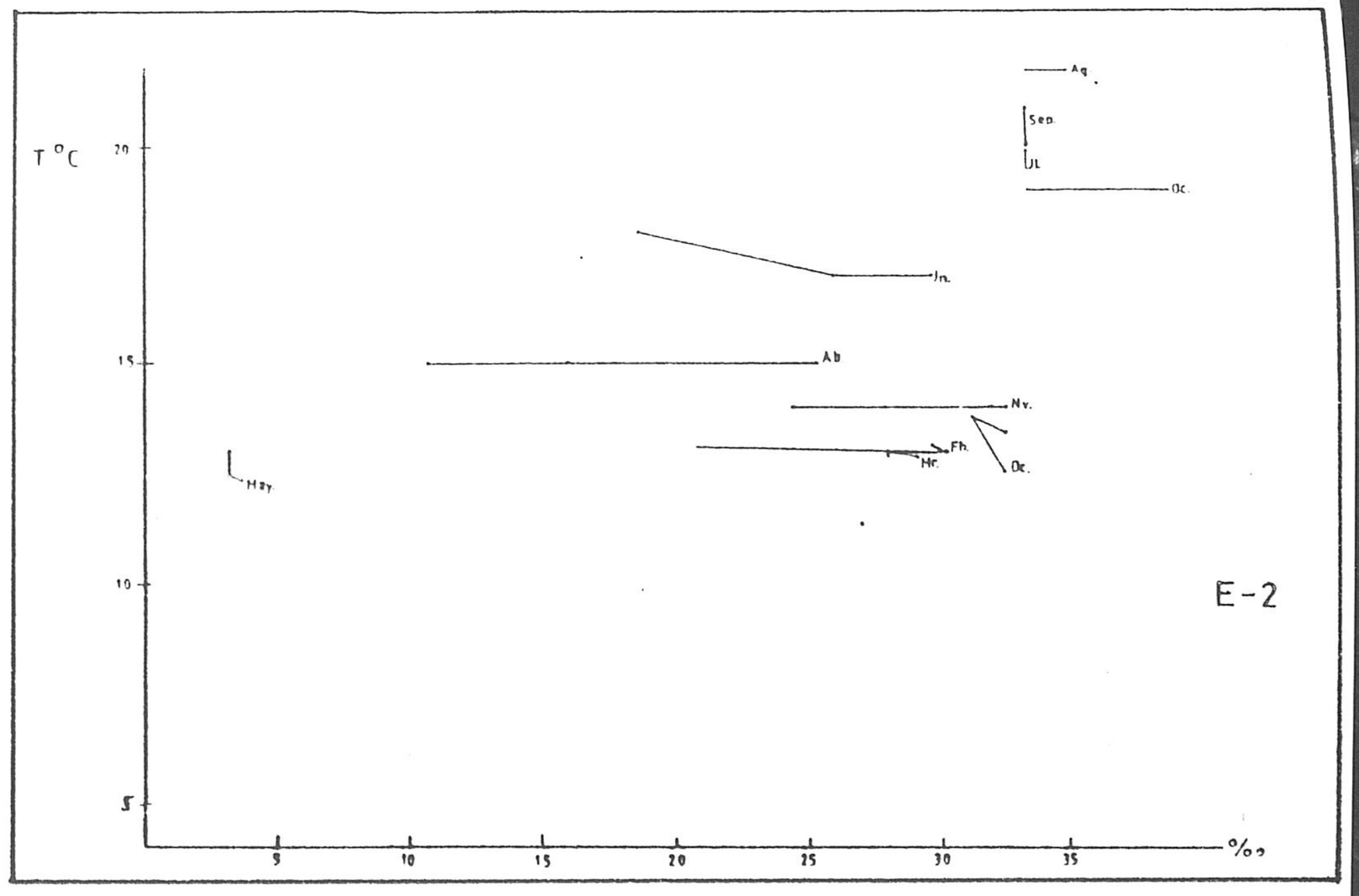


Figura 4.8.- Diagrama T-S de todos los puntos a lo largo del año en las tres estaciones de muestreo en Pleamar.





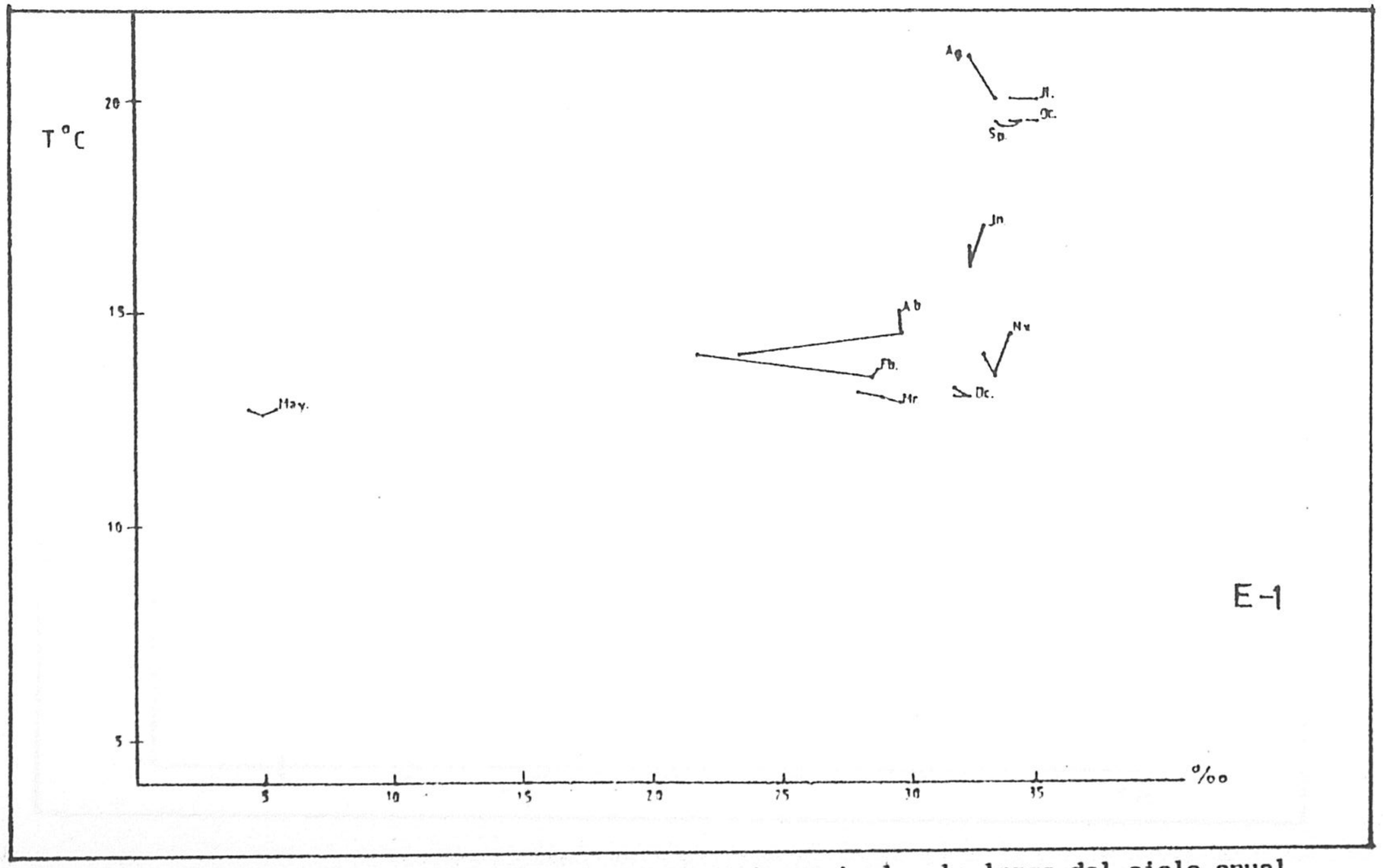
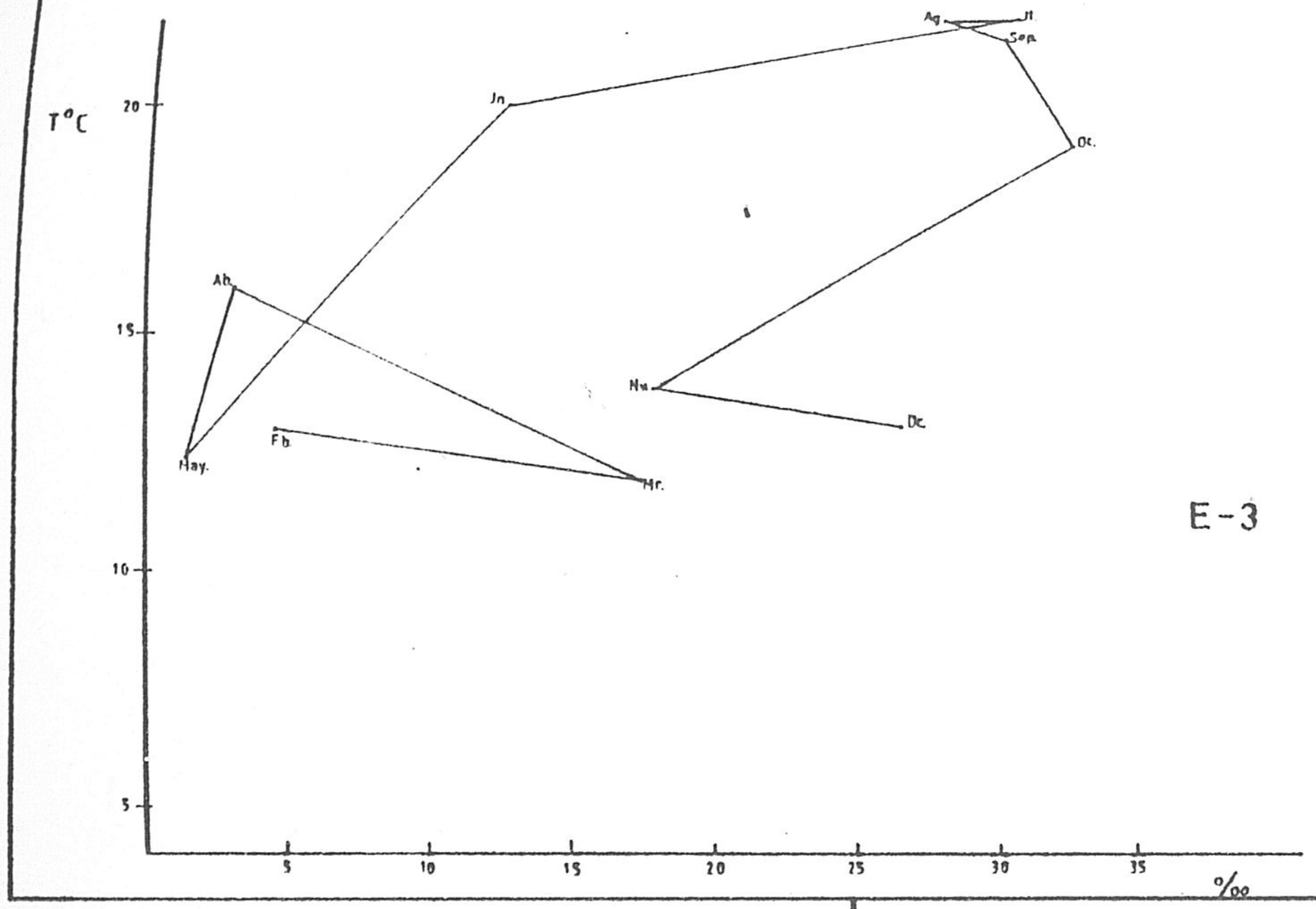
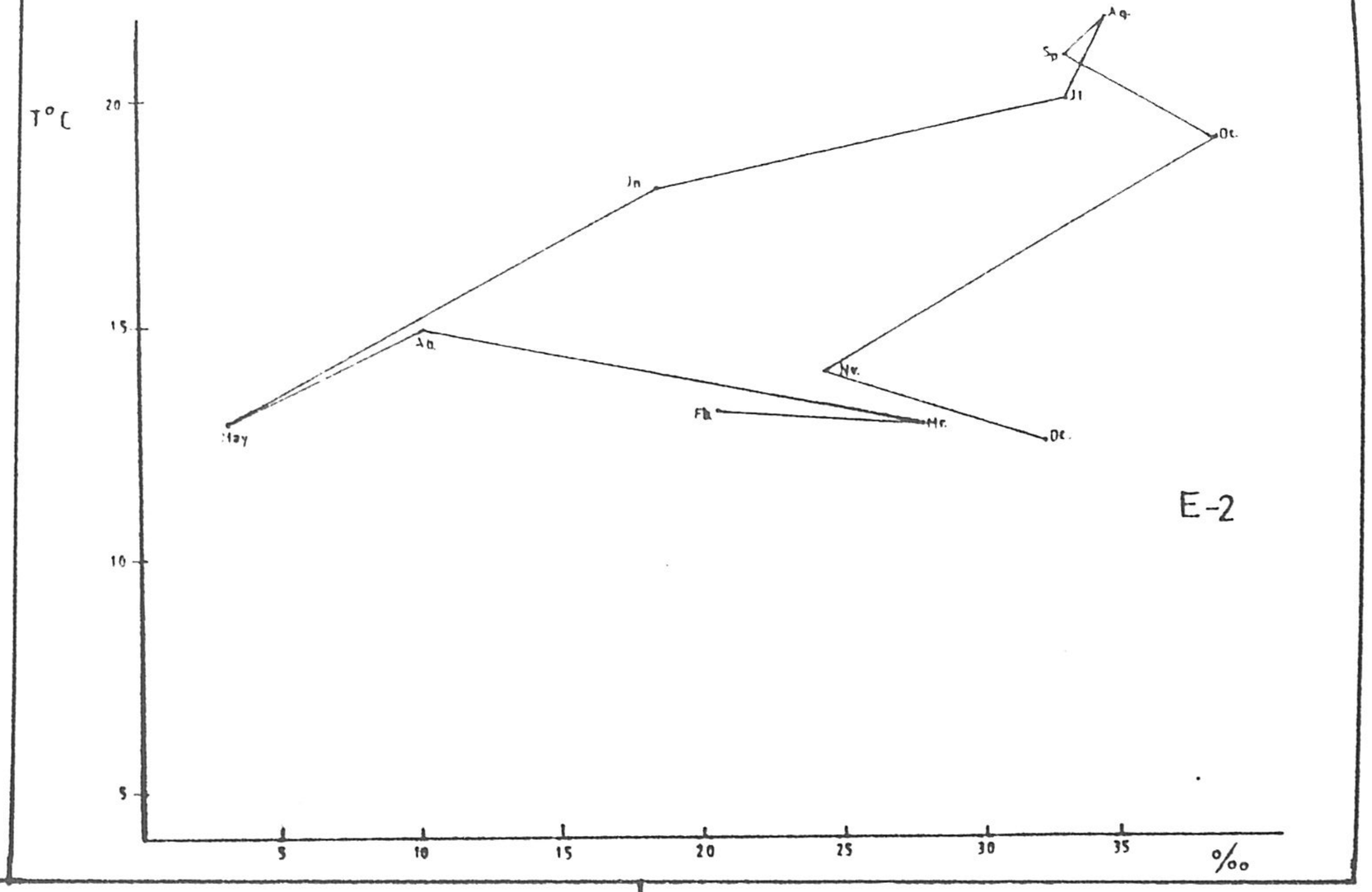


Figura 4.8.1.- Diagramas T-S , por estaciones, en el punto central a lo largo del ciclo anual





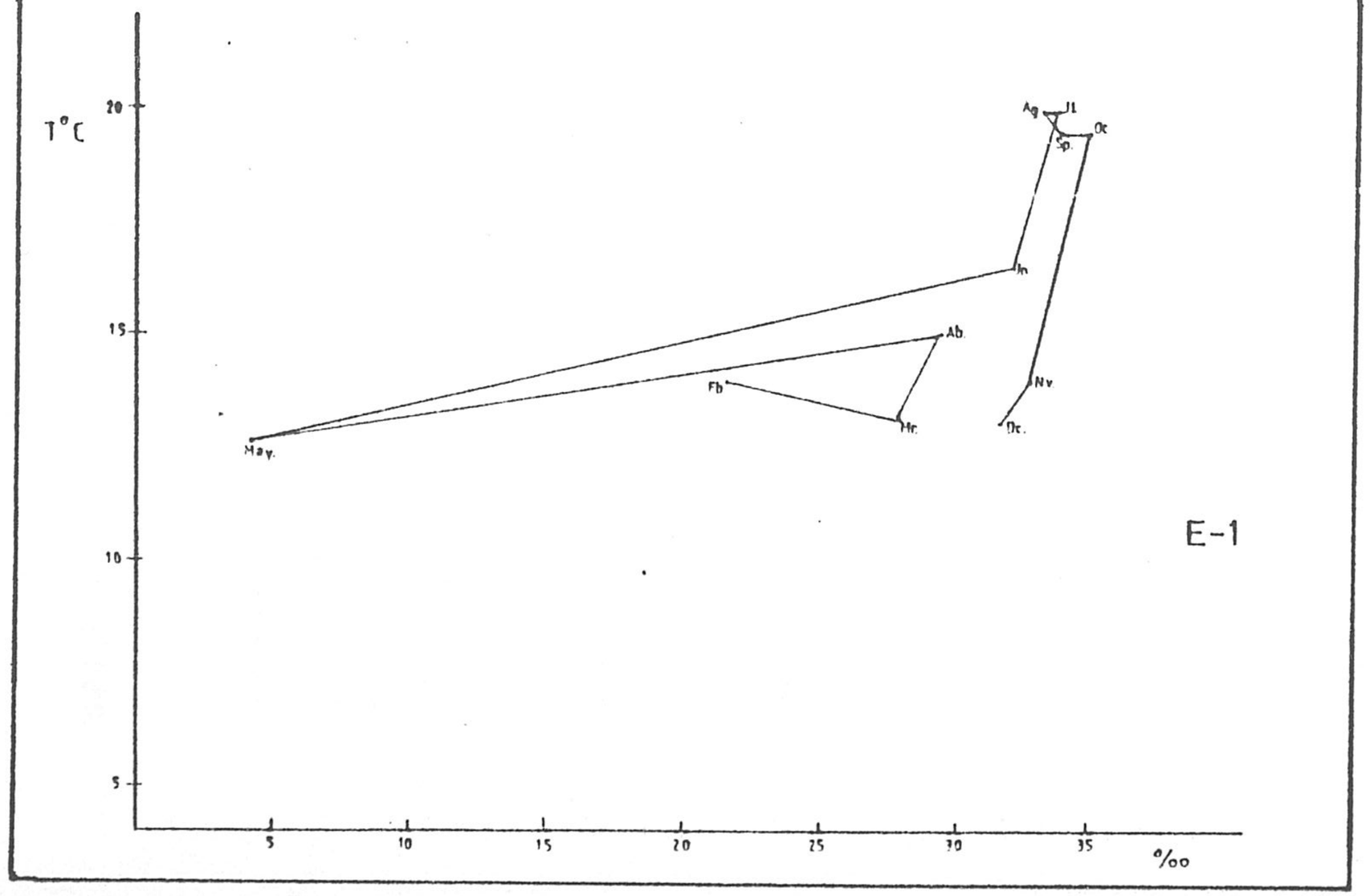


Figura 4.8.2.- Diagramas T-S, por estaciones en superficie a lo largo del ciclo anual.

Al representar los T-S (figura 4.8.2) correspondientes a las aguas de superficie en cada estación, se observa también una mayor estratificación horizontal en la estación 3, en donde las fluctuaciones de salinidad son mayores.

Por otra parte, en todas ellas se observa la fuerte dilución acaecida en el mes de mayo como consecuencia de las lluvias.

4.4.- DENSIDAD (σ_T)

Los valores de σ_t variaron marcadamente a lo largo del ciclo estudiado, apreciándose una estratificación longitudinal y vertical (figura 4.9). Los valores más bajos se dieron en mayo (M = 2.5) y los máximos en septiembre (M = 24.5).

La estratificación fue mayor en bajamar que en pleamar.

Fue frecuente la aparición, en bajamar de un agua más densa en el fondo de la estación 3 que en el resto de la ría. Esta situación probablemente sea debida a la topografía de la ría. La profundidad fue disminuyendo a medida que nos acercamos a la desembocadura. El agua más salada y por lo tanto más densa, de la marea anterior, no llegaría a salir ni a mezclarse con los movimientos de bajamar.

Como se puede observar en la figura 4.9 aparecieron una serie de inestabilidades, ya reflejadas en los diagramas T-S, en las que un agua más densa se sitúa por encima de un agua menos densa (septiembre). Estas situaciones son transitorias y cuando se realizaron las medidas en otro estado de marea no se apreciaron.

Al depender la densidad fuertemente de la salinidad los valores de densidad siguieron de cerca las isohalinas (figura 4.1).

4.5.- LUZ

En la tabla 4.5 se muestran los valores del tanto por ciento de reflexión de la luz en los días de muestreo. Variaron desde el 57% en bajamar en el mes de febrero al 20% en pleamar en junio. La reflexión fue mayor en bajamar que en pleamar.

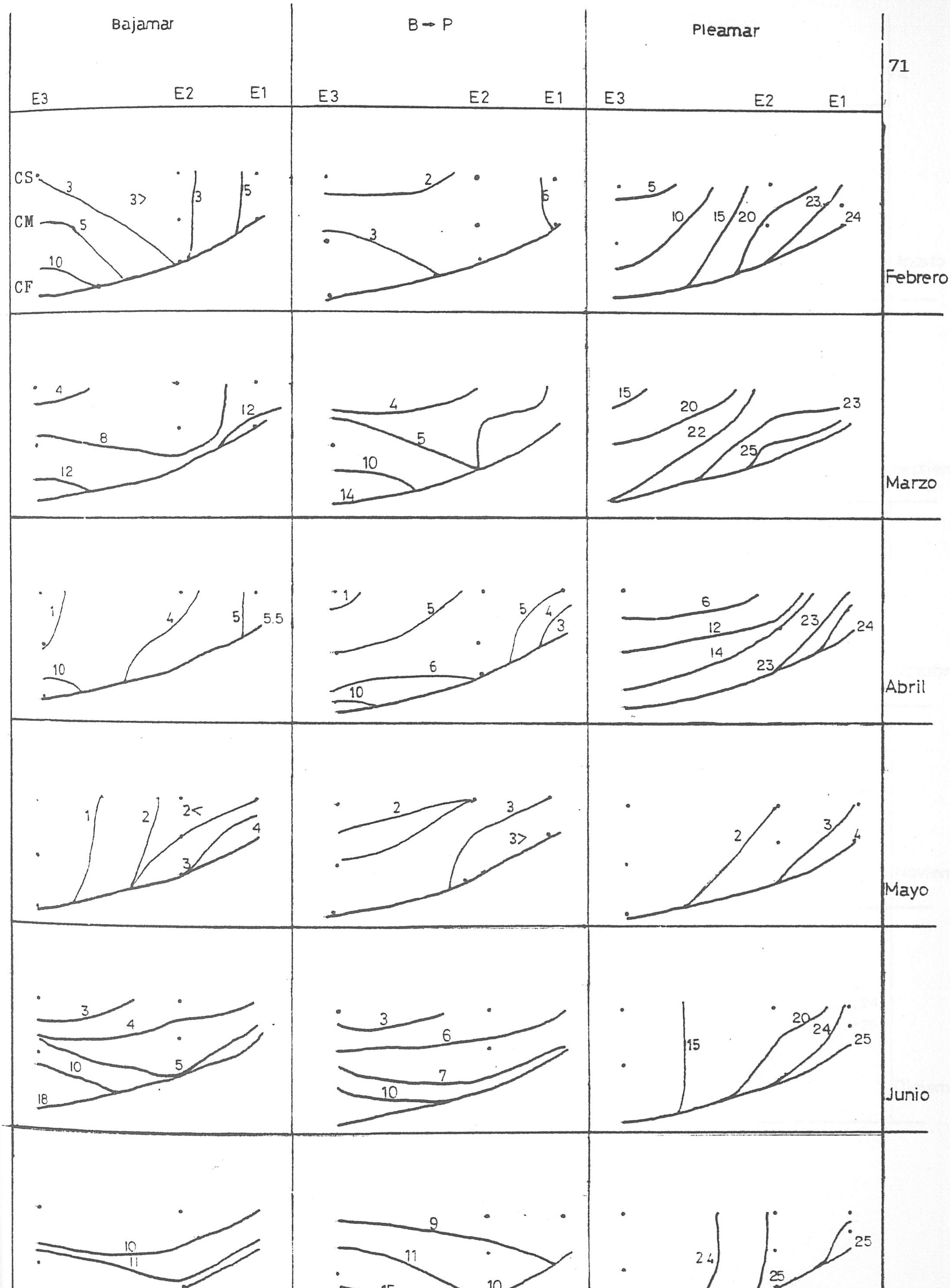


Figura 4.9.- Perfiles verticales de sigma-t (σ_T).

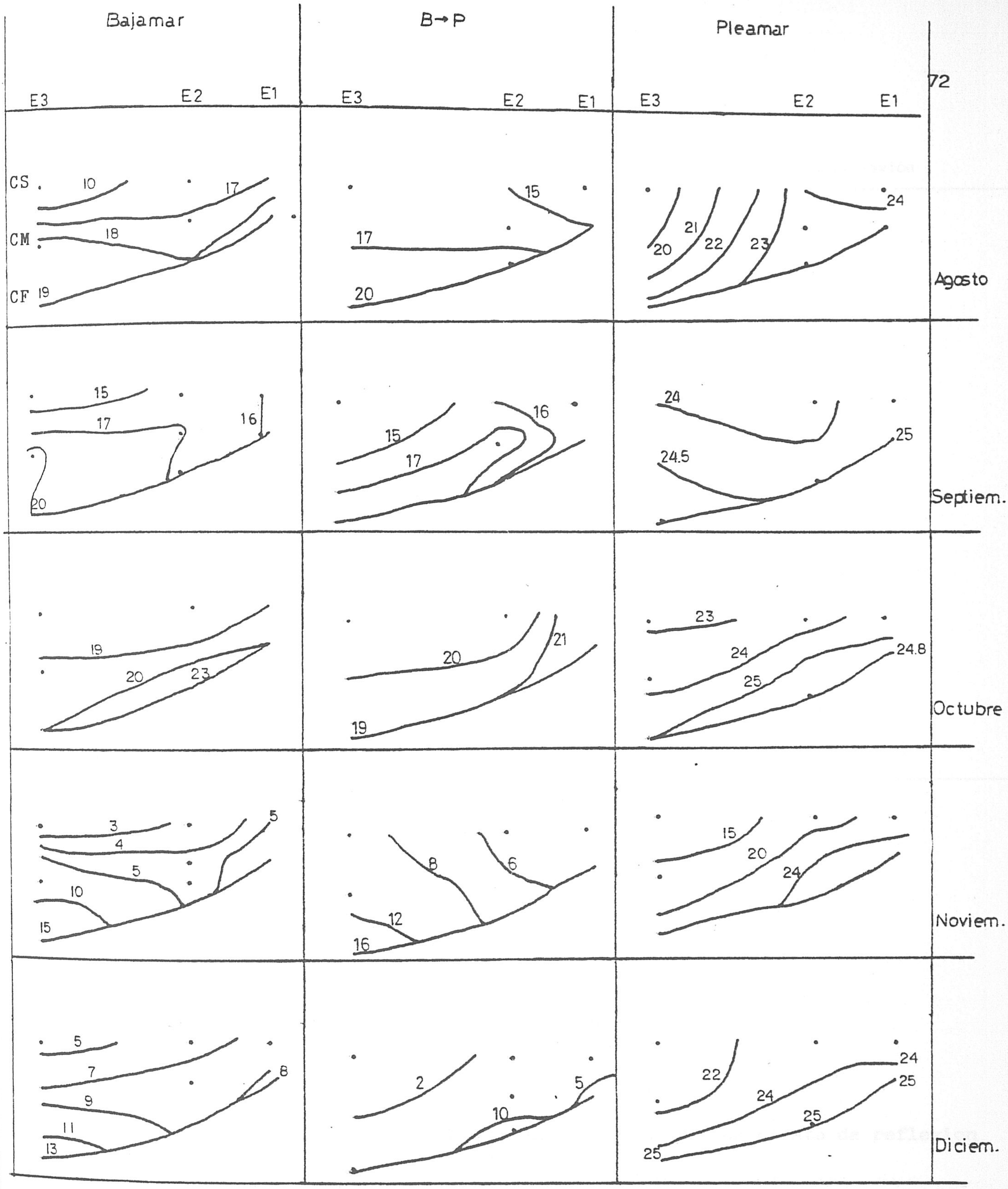


Figura 4.9.- (Continuación).

		$\bar{I}_{aire}$ (Wm^{-2})	D	n	% de reflexión
B 5-2-85	E 2	149.3	65.4	7	48
B 7-2-85	E 3	48	18.7	4	57
P 14-2-85	E 2	90	76.5	3	30
P 1-3-85	E 1	103.8	56.8	4	43
B 6-3-85	E 2	191.3	67.2	4	36
B 7-3-85	E 3	76.25	24.8	4	31
P 14-3-85	E 2	40.7	18.4	3	33
B 17-4-85	E 2	244.7	5.72	4	37
P 26-4-85	E 2	133.7	39.9	4	24
B 15-5-85	E 2	81.3	20.3	3	43
B 16-5-85	E 3	150	47	3	40
B 12-6-85	E 1	45.3	20	3	43
B 13-6-85	E 3	135	30.8	3	25
P 7-6-85	E 2	191.3	35.8	4	20
B 15-7-85	E 2	77	30.4	3	36
B 16-7-85	E 3	117.5	17.5	2	43
P 9-7-85	E 2	166.7	28.7	3	40
B 1-8-85	E 2	230	5	2	26
P 6-8-85	E 2	5.2		1	52
B 12-9-85	E 2	140	0	2	29
P 19-9-85	E 2	37.7	77	3	35
B 10-10-85	E 2	186.25	35	4	25
P 7-10-85	E 2	200	0	2	28
B 11-11-85	E 2	45	0	1	22
P 6-11-85	E 2	370	0	1	24

B = Bajamar
P = Pleamar
I = Intensidad de la luz en el aire
D = Desviación típica
n = número de medidas tomadas cada media hora

$$\% \text{ de reflexión} = 1 - \frac{\text{Rad S del agua}}{\text{Rad del aire}}$$

Tabla 4.5.- Intensidad de la luz en el aire y tanto por ciento de reflexion

El coeficiente de extinción fue disminuyendo a medida que nos acercamos hacia el mar y así, los mínimos se encontraron en la estación 1 (más cercana al mar) y los máximos en la estación 3 (más fluvial). En la figura 4.10 se muestran los valores del coeficiente de extinción a lo largo del año (en pleamar y bajamar).

Los valores estuvieron comprendidos entre 0.4 m^{-1} pleamar marzo en la estación 1 a 1.87 m^{-1} bajamar en la estación 3 en junio. En este mes fue cuando se obtuvieron las mayores concentraciones de fitoplancton. Los valores más altos se dieron en bajamar.

Basándonos en las medidas del coeficiente de extinción de la luz, podemos decir que se estableció un gradiente de turbidez según el eje longitudinal de la ría. Este indica el origen interno de la turbidez, a la que contribuirán la aportada por el río y el fitoplancton que en dicha zona se desarrolle.

La profundidad de la capa fótica (1% de la luz incidente en superficie), generalmente fue mayor que la profundidad de la ría. En la figura 4.11 se muestra el % de iluminación respecto a la superficie en los días de muestreo.

4.6.- ALCALINIDAD y pH

Los valores medios de alcalinidad total durante el ciclo de muestreo para cada estación (Figura 4.12) están comprendidos entre 1.1 y 3.6 meq./l que con un pH medio de 7.9 -según la curva de Buch- se debe en su mayor parte a los bicarbonatos.

La alcalinidad en la ría presenta una relación lineal con la clorinidad. La regresión encontrada entre la alcalinidad total en mg./l y la clorinidad, es:

$$AT = 0.093\ Cl/l + 1.319 \quad (r = 0.92)$$

(figura 4.13)

El correspondiente análisis de la varianza (Tabla 4.6) mostró que se puede aceptar la hipótesis de igualdad entre medias, en los distintos momentos de marea, para la estación 3; pero no así para la 2 y la 1, en las que existe diferencia entre bajamar (M = 2.36 miliequiv./l) y pleamar (M = 2.57 miliequiv./l) (figura 4.14.b). También se puede aceptar la hipótesis para las masas de agua. Las diferencias entre las medias en las distintas masas de agua no son significativas (figura 4.14.a).

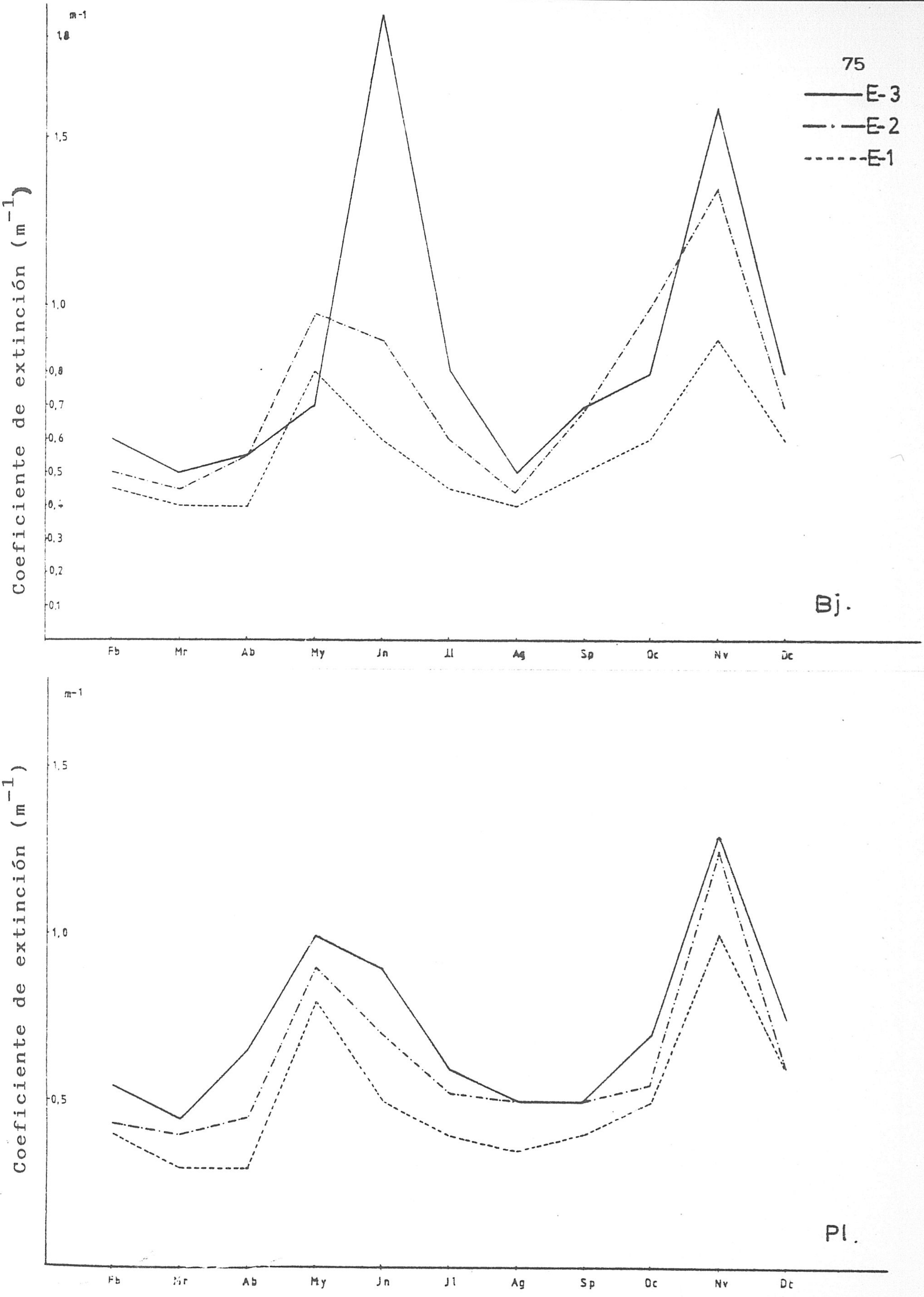


Figura 4.10.- Distribución temporal de los valores del coeficiente de extinción de la luz en cada una de las estaciones de muestreo, en los momentos de marea de Bajamar y de Pleamar.

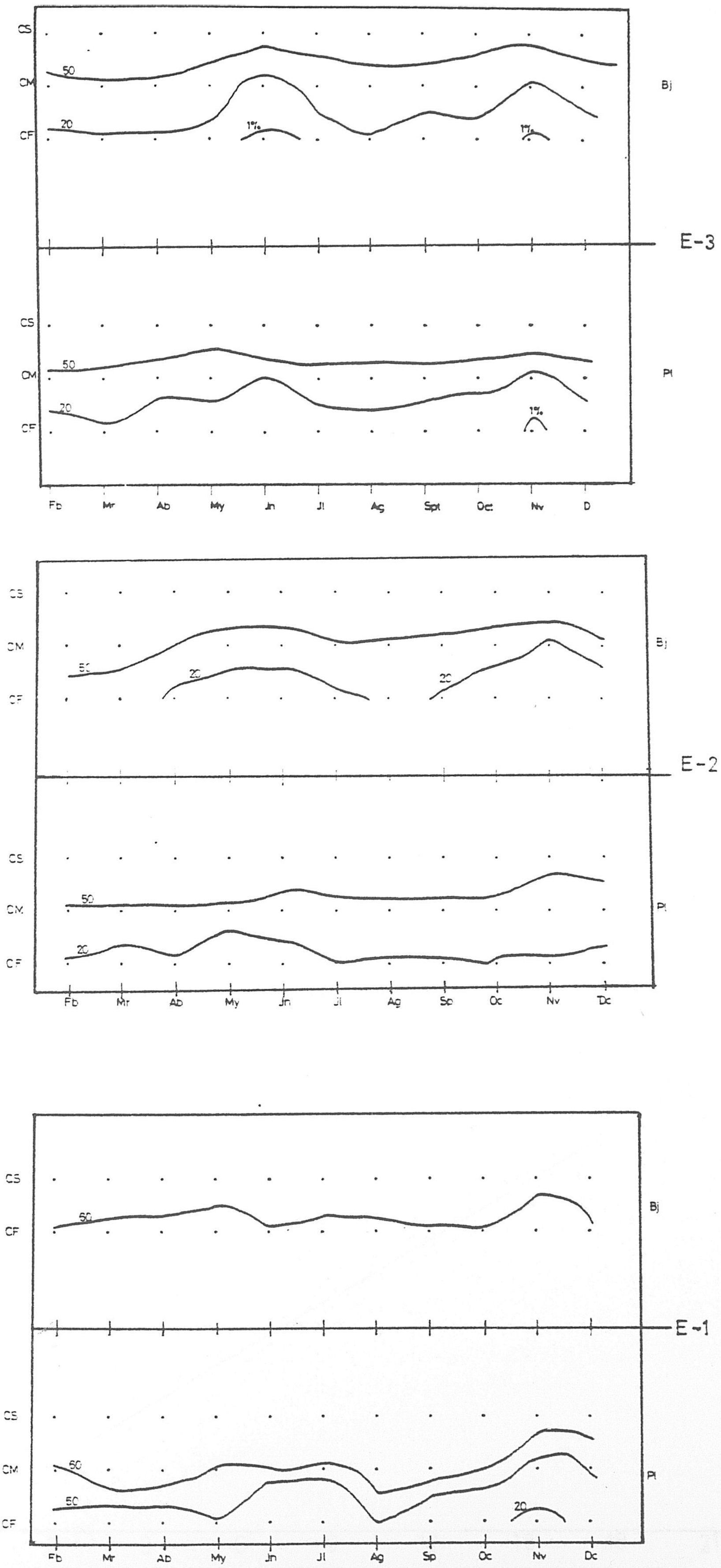


Figura 4.11. Porcentaje de penetración de la luz en las tres estaciones de muestreo y en los momentos de Bajamar (Bj) y de Pleamar (Pl.).

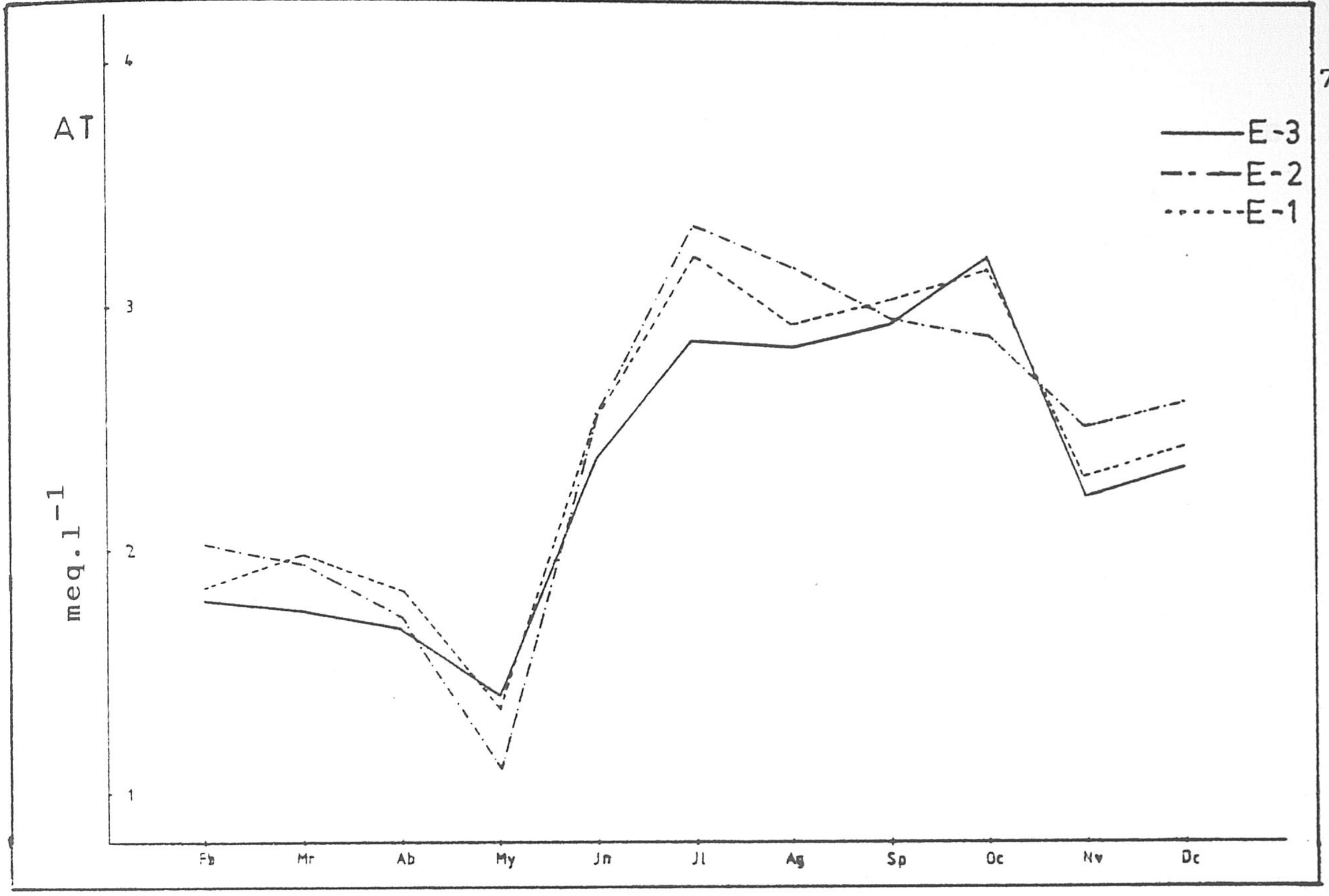


Figura 4.12.- Valores de alcalinidad media (mequiv/l) en las tres estaciones de muestreo.

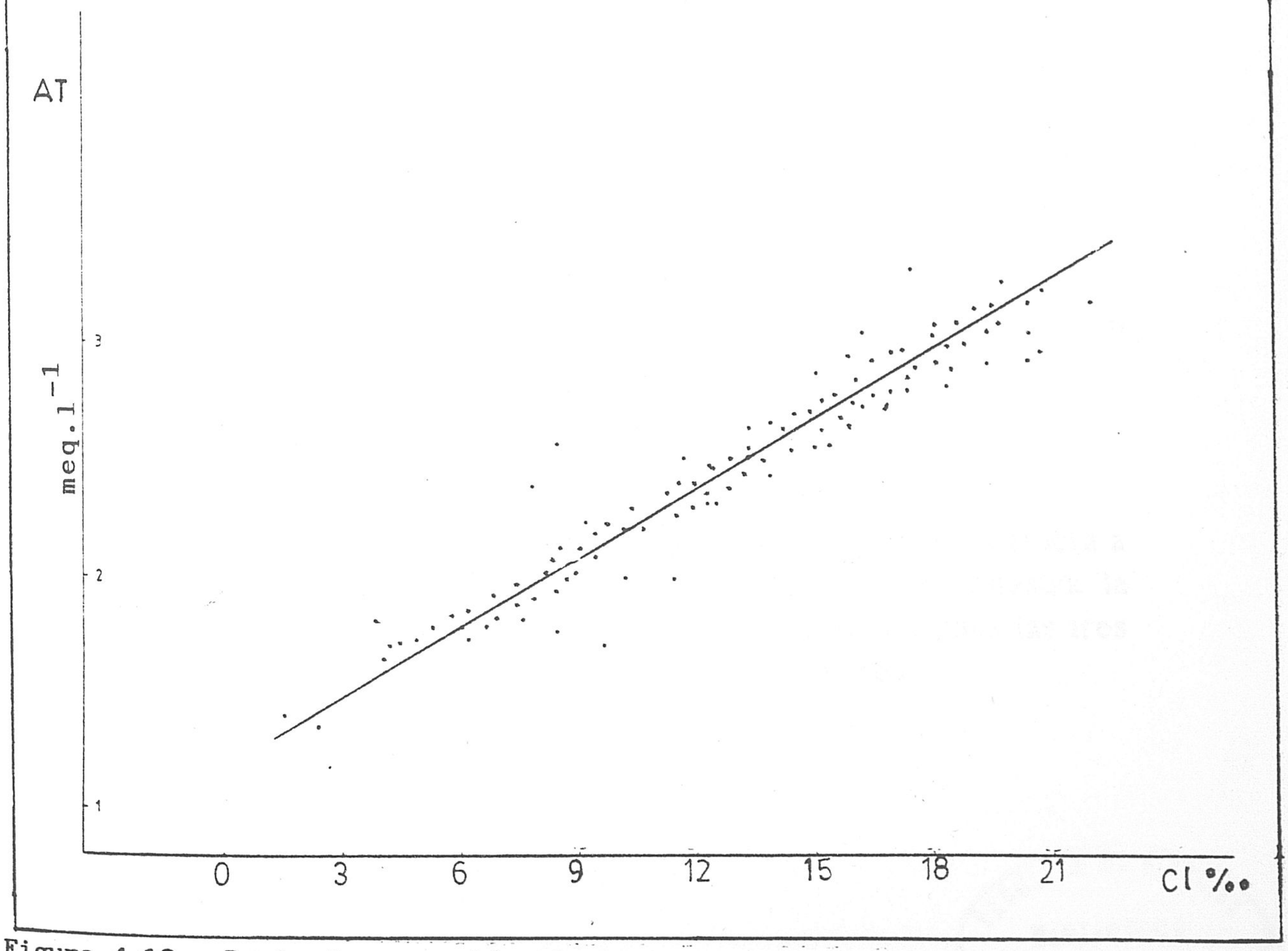


Figura 4.13.- Recta de regresión Alcalinidad- Clorinidad.

Los valores de pH oscilaron desde 7.18, para septiembre en la estación 1, hasta 8.63 para el mes de junio en la estación 2 y en el punto de máxima concentración de fitoplancton. La variación de éste a lo largo del año se muestra en la figura 4.15.

El análisis de la varianza (Tabla 4.7), donde se contrastan las hipótesis de homogeneidad del pH, para cada estación de muestreo concluye:

En la estación 3 se aceptan las hipótesis de igualdad de medias para las masas de agua y para el ciclo mareal.

En la estación 2 el litoral B y el punto central de superficie presentan diferencias con el agua profunda. No hay diferencias a lo largo del ciclo mareal.

En la estación 1, hay igualdad de medias en las masas de agua, pero no las hay en el ciclo mareal entre pleamar (7.99) y bajamar (7.91).

Tanto para el pH como para la alcalinidad, no existe homogeneidad en los meses de muestreo. En las figuras 4.14 y 4.16, se muestran estos resultados.

Las medias y coeficientes de dispersión de la alcalinidad y pH se presentan en las tablas 4.8 y 4.9 respectivamente.

De las tres estaciones, en valores medios la que presenta mayor basicidad es la estación 1, por ser la más cercana al mar y la más salina.

Es conocida la relación entre pH y alcalinidad (SPENCER, 1965; MORRIS et al, 1982.a) aunque no se encuentren aquí relaciones con carácter tan lineal como en otros lugares.

4.7.- OXIGENO DISUELTO

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua de la ría está sujeta a variaciones estacionales y mareales. En la figura 4.17 se muestra la variación temporal de la concentración de oxígeno disuelto para las tres estaciones de muestreo y en los distintos estados de marea.

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.0338	$8.445.10^{-3}$	1.27
Meses de muestreo	10	0.8709	$8.709.10^{-2}$	13.18 *
Error masas de agua	40	0.2642	$6.605.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	$1.5426.10^{-2}$	$7.713.10^{-3}$	1.03
Masas de agua por ciclo	8	$4.3823.10^{-2}$	$5.4779.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	100	0.7437	$7.436.10^{-3}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.0013	$3.2425.10^{-4}$	0.31
Meses de muestreo	10	1.012	0.1012	96.35 *
Error masas de agua	40	$4.2.10^{-2}$	$1.05.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	$3.592.10^{-2}$	$1.796.10^{-2}$	11.94 *
Masas de agua por ciclo	8	$2.396.10^{-3}$	$2.995.10^{-4}$	
Error mto. del ciclo	100	0.15	$1.504.10^{-3}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$3.845.10^{-3}$	$9.613.10^{-4}$	1.11
Meses de muestreo	10	1.267	0.127	146.38 *
Error masas de agua	40	$3.462.10^{-2}$	$8.655.10^{-4}$	
Momentos del ciclo mareal	2	$3.0797.10^{-2}$	$1.0398.10^{-2}$	6.75 *
Masas de agua por ciclo	8	$5.523.10^{-3}$	$6.905.10^{-4}$	
Error mto. del ciclo	100	0.154	$1.541.10^{-3}$	

G.L. : Grados de libertad

S.C. : Suma de cuadrados

C.M. : Cuadrados medios

* : Significativo

Tabla 4.6. Análisis de la varianza. Alcalinidad

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.105	$2.636.10^{-2}$	1.06
Meses de muestreo	10	16.648	1.6648	66.855 *
Error masas de agua	40	0.99609	$2.4902.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.10546	$5.2734\ 10^{-2}$	1.12
Masas de agua por ciclo	8	0.191406	$2.3925.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	4.71094	$4.71094.10^{-2}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.2539	$6.347.10^{-2}$	2.99 *
Meses de muestreo	10	15.429	1.5429	72.81 *
Error masas de agua	40	0.8476	$2.119.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	$3.906.10^{-3}$	$1.953.10^{-3}$	0.05
Masas de agua por ciclo	8	0.1289	$1.6113.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	3.566	$3.566.10^{-2}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$1.953.10^{-2}$	$4.833.10^{-3}$	1.16
Meses de muestreo	10	21.23	2.123	505.67 *
Error masas de agua	40	0.1679	$4.199.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.207	0.1035	6.97 *
Masas de agua por ciclo	8	0.0156	$1.953.10^{-3}$	6.97 *
Error mto. del ciclo	100	1.484	1.4843	

Tabla 4.7. Análisis de la varianza pH

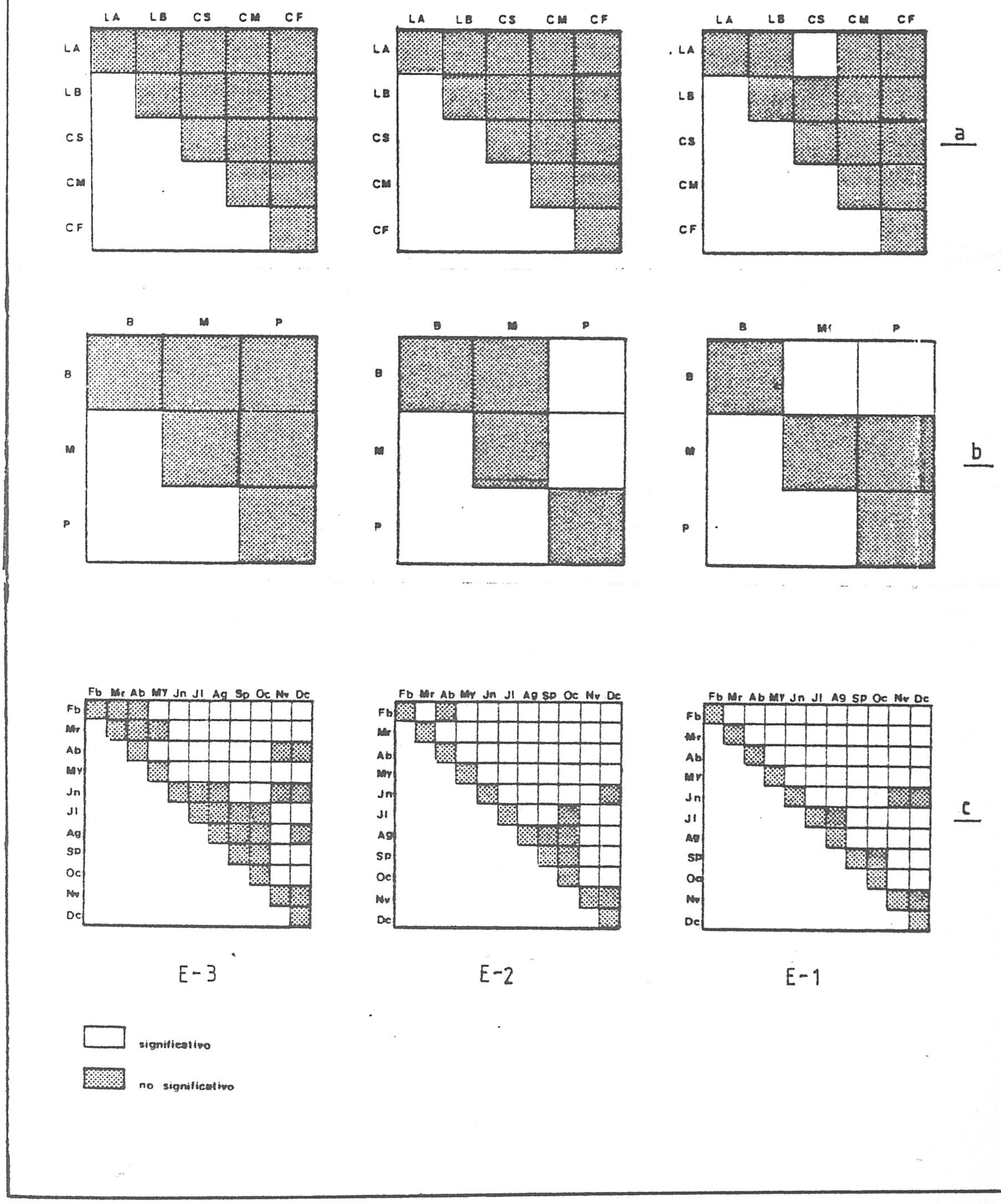


Figura 4.14.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de la Alcalinidad.

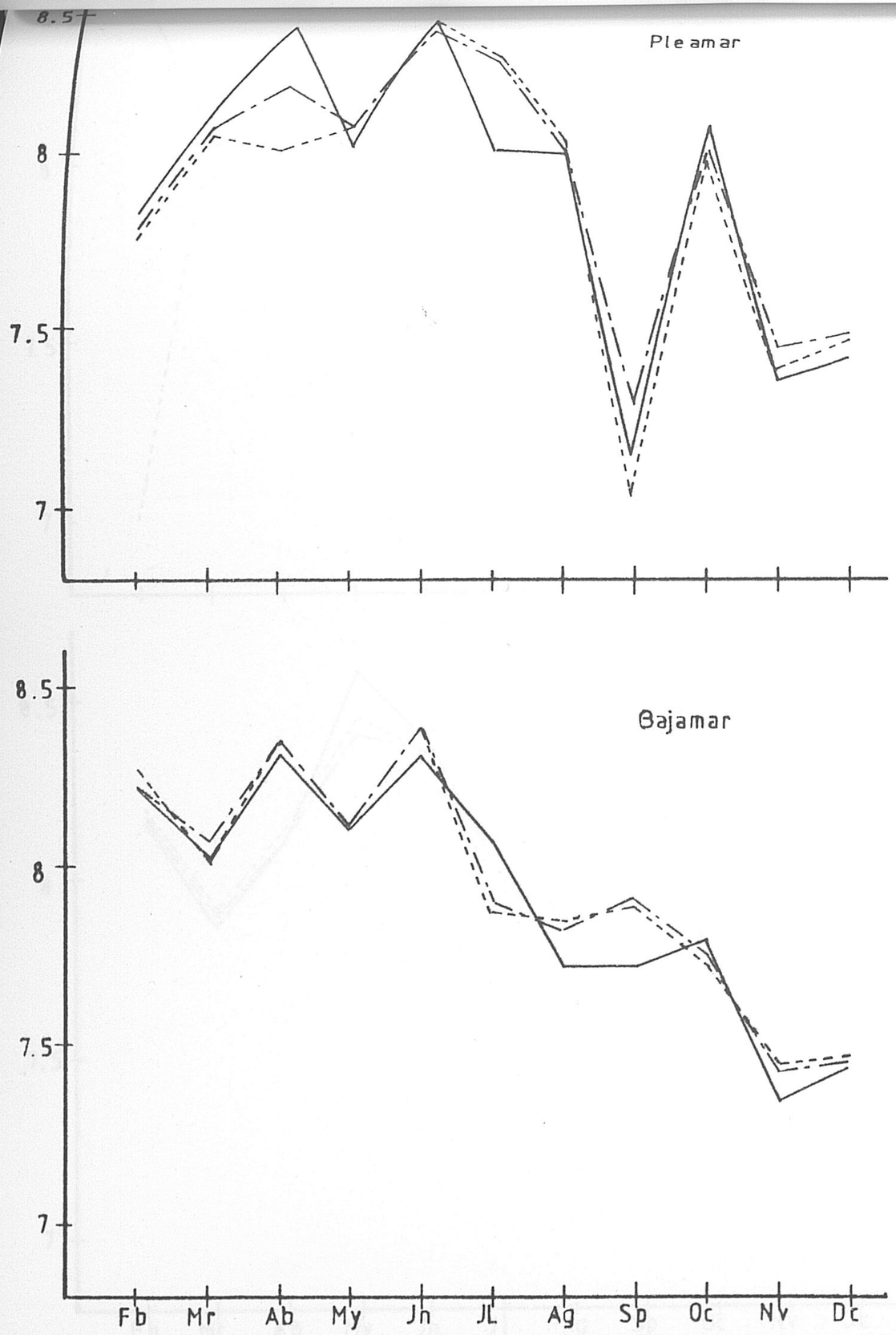


Figura 4.15.- Variación anual del pH en los tres momentos de marea.

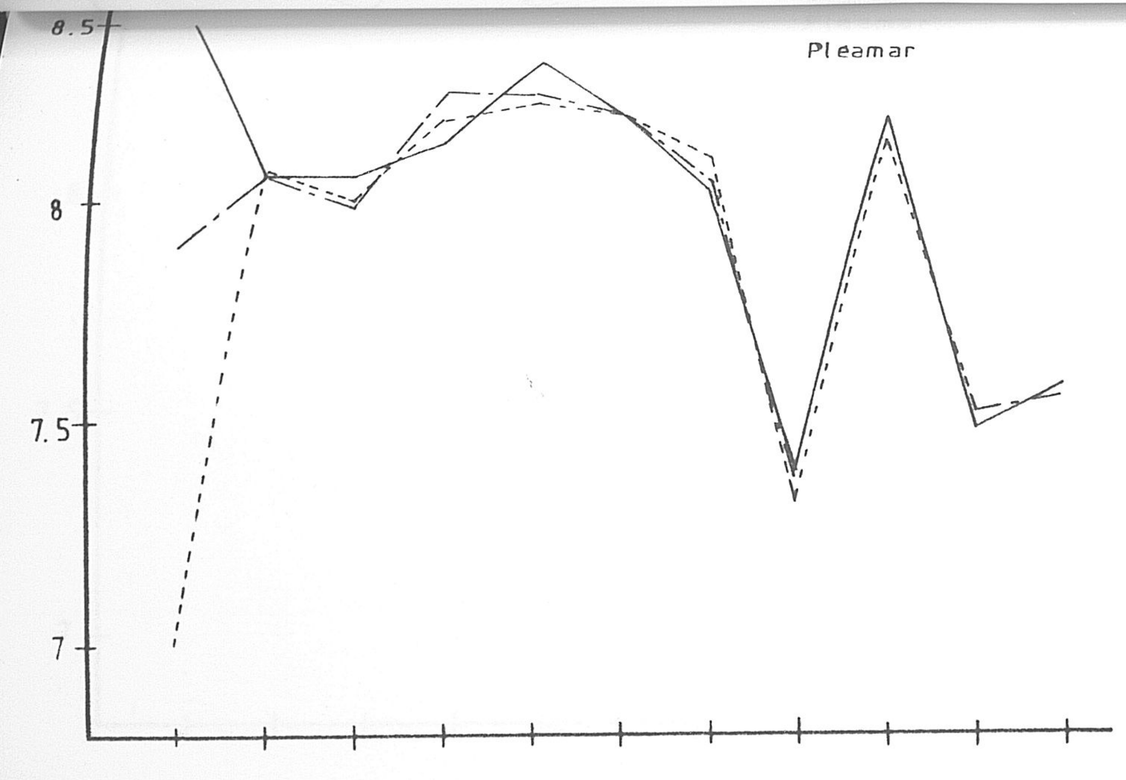
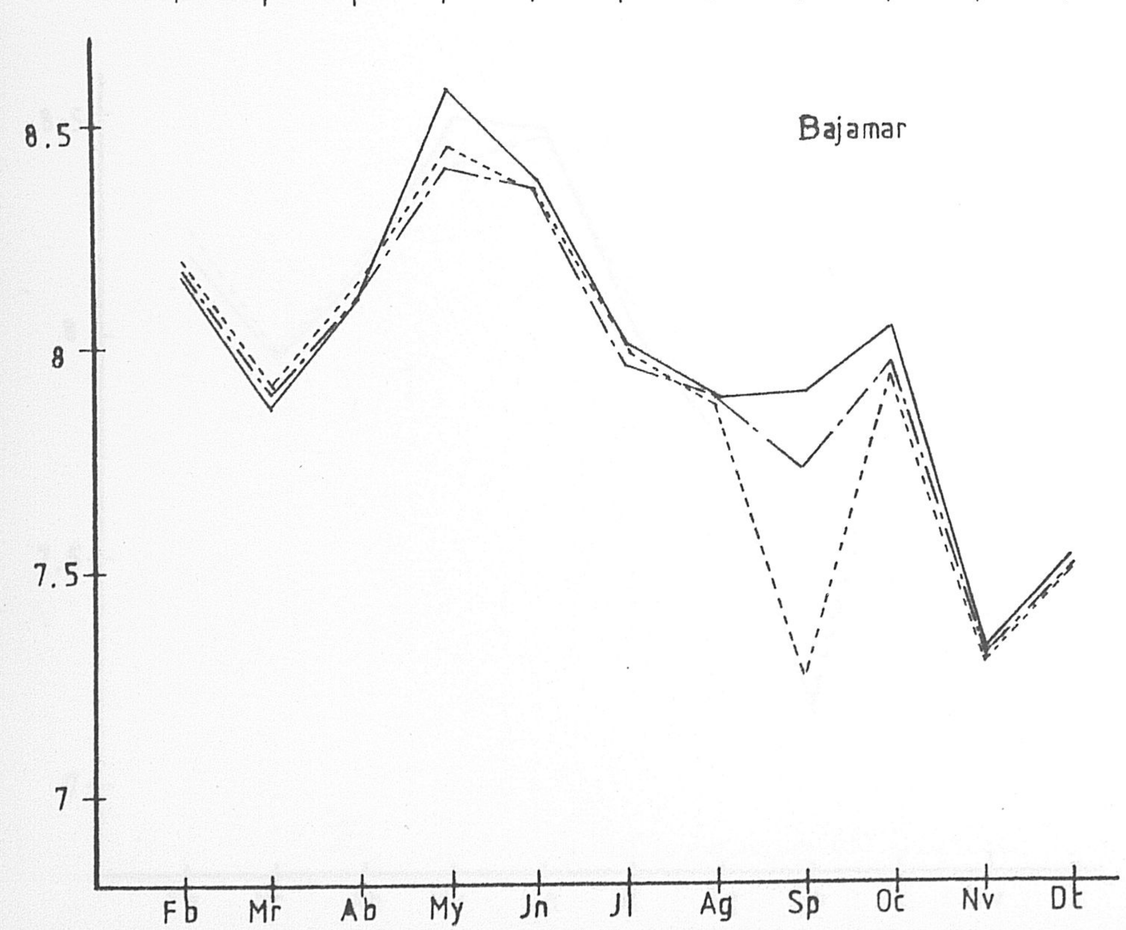
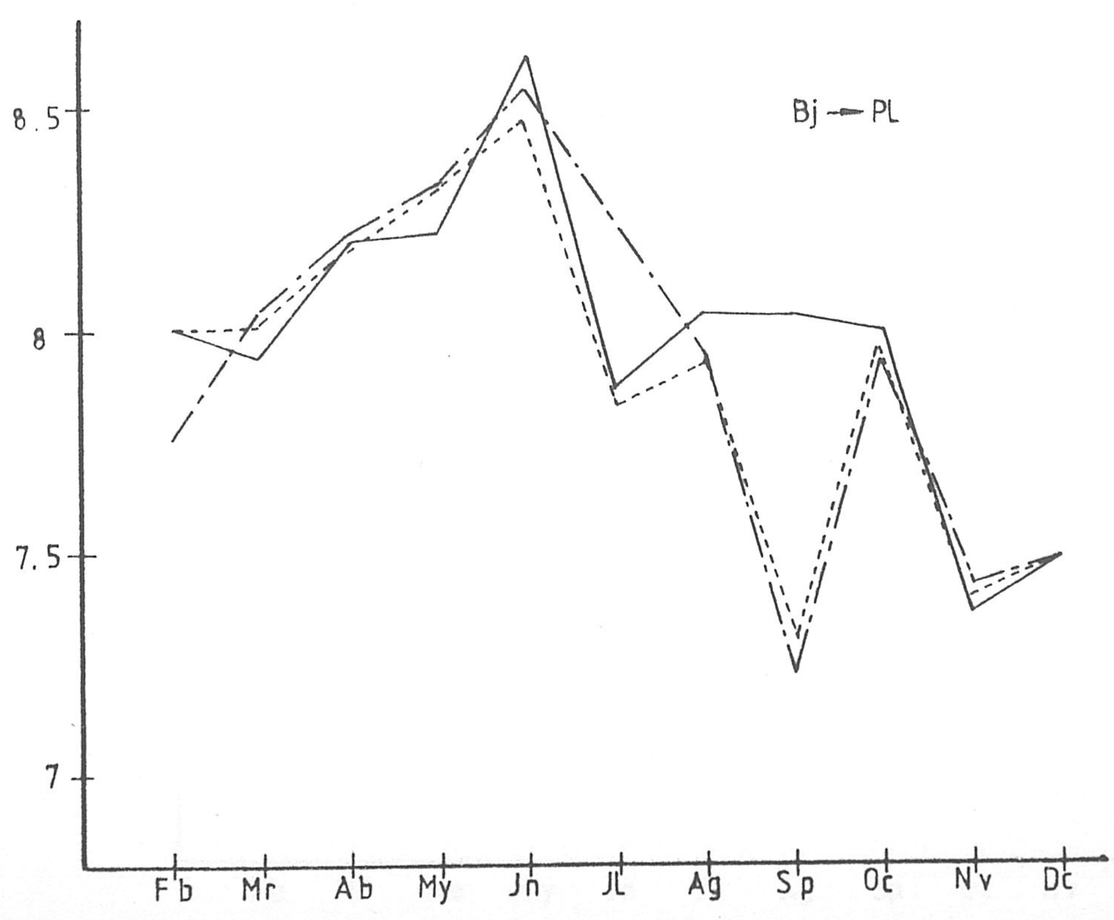
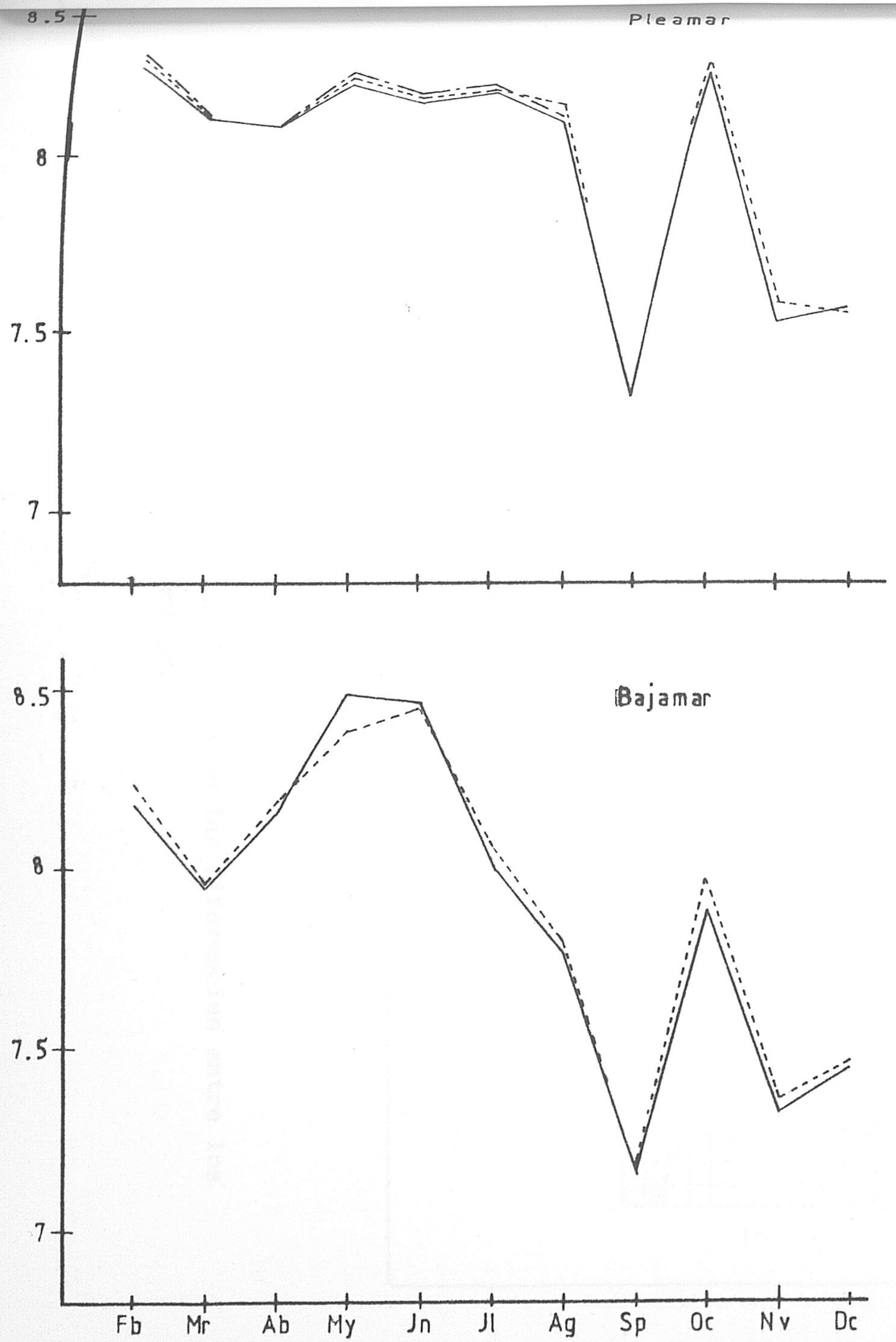


Figura 4.15.- (Continuación).

E-2







E-1

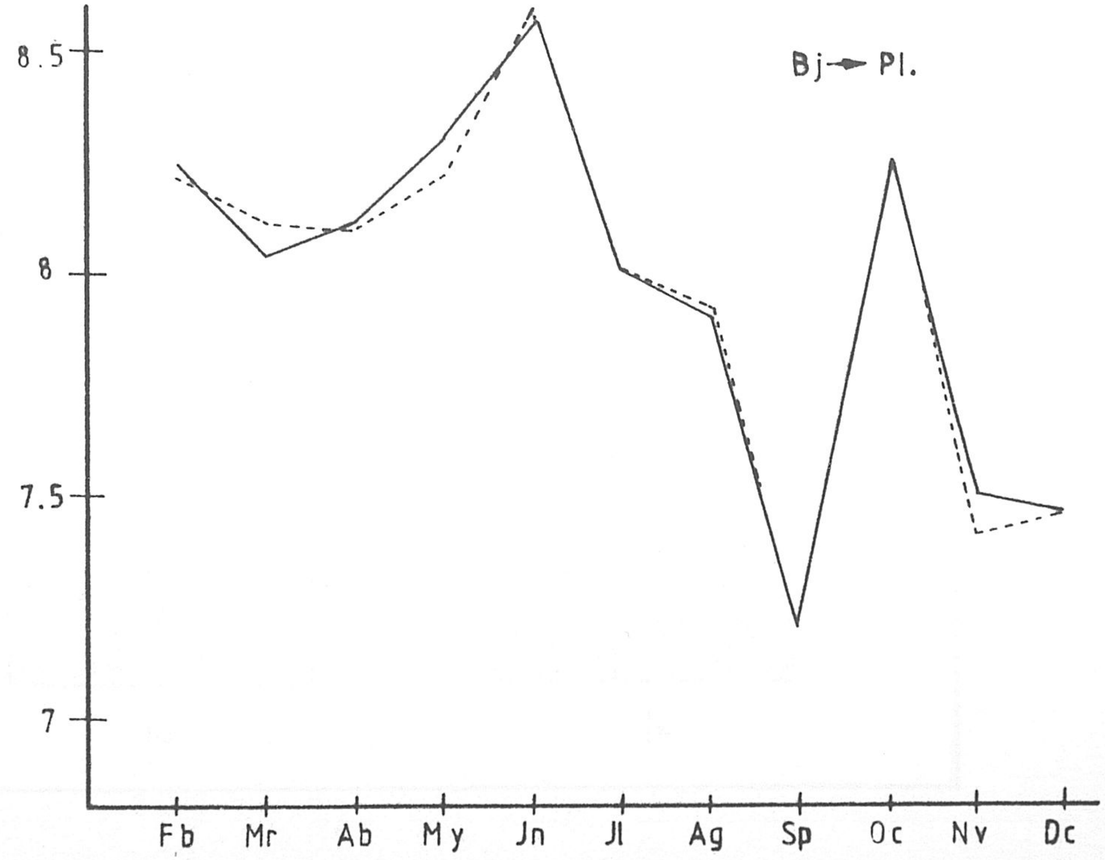


Figura 4.15.- (Continuación).

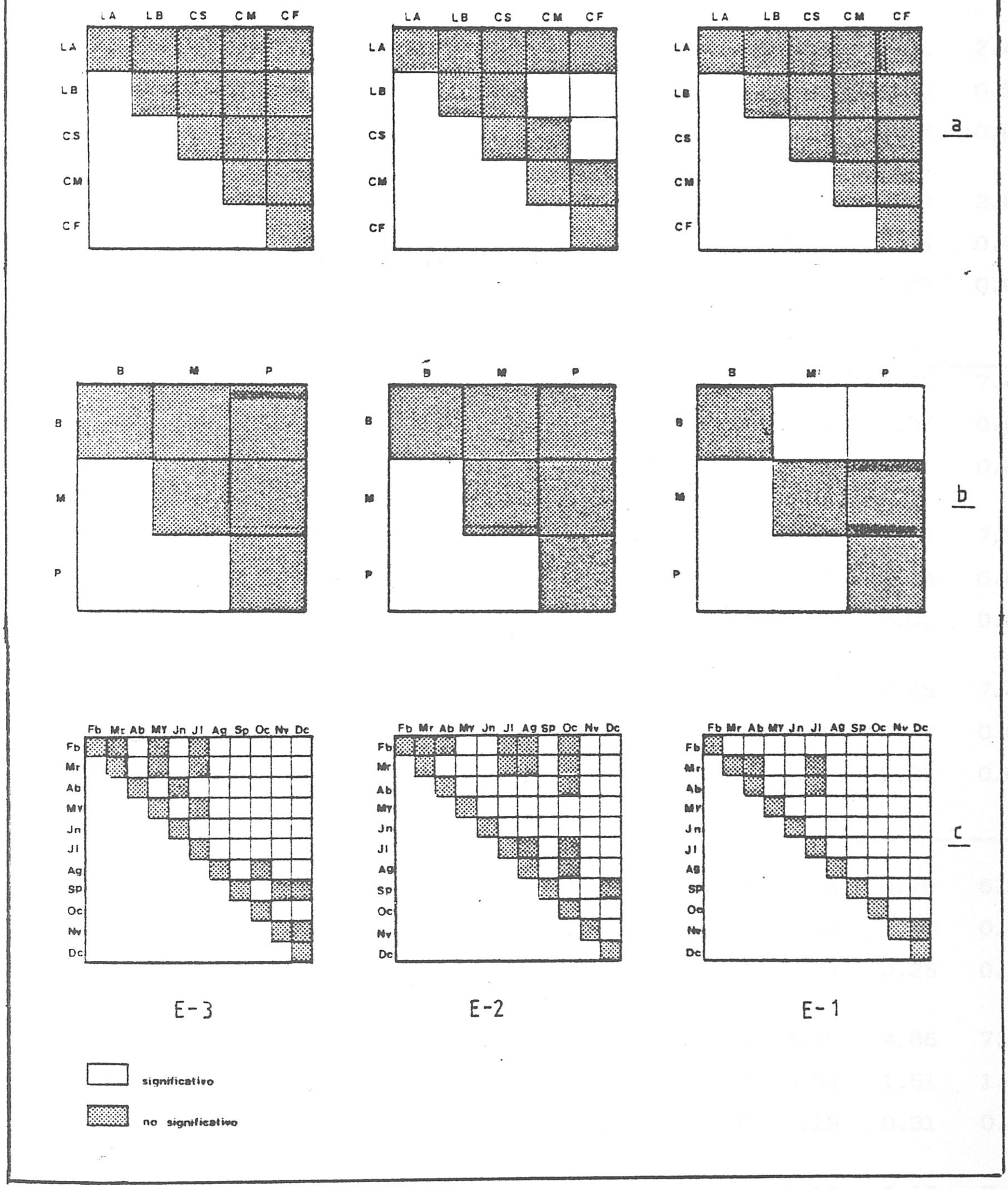


Figura 4.16.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de pH.

		Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
E-3	M	1.79	1.75	1.68	1.14	2.39	2.86	2.83	2.93	3.21	2.23	2.35
	D	0.13	0.22	0.45	0.18	0.20	0.19	0.17	0.29	0.25	0.11	0.23
	D/M	0.07	0.12	0.26	0.13	0.08	0.07	0.06	0.09	0.08	0.05	0.09
E-2	M	1.84	1.99	1.83	1.36	2.56	3.24	2.93	3.02	3.15	2.31	2.43
	D	0.34	0.32	0.38	0.13	0.31	0.19	0.19	0.32	0.52	0.20	0.13
	D/M	0.19	0.16	0.21	0.09	0.12	0.06	0.07	0.11	0.16	0.09	0.05
E-1	M	2.21	1.95	1.72	1.11	2.56	3.33	3.16	2.94	2.89	2.53	2.63
	D	0.20	0.24	0.37	0.06	0.29	0.32	0.50	0.45	0.18	0.33	0.09
	D/M	0.09	0.12	0.22	0.06	0.11	0.09	0.16	0.15	0.06	0.13	0.03

Tabla 4.8.- Alcalinidad

E-3	M	8.09	8.06	8.27	8.10	8.31	8.02	7.88	7.38	7.86	7.42	7.47
	D	0.21	0.08	0.16	0.03	0.39	0.16	0.09	0.34	0.14	0.07	0.07
	D/M	0.03	0.01	0.02	0.01	0.05	0.02	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01
E-2	M	8.03	8.00	8.13	8.31	8.42	8.03	7.95	7.55	8.03	7.42	7.52
	D	0.39	0.09	0.08	0.14	0.11	0.14	0.08	0.26	0.13	0.08	0.03
	D/M	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01
E-1	M	8.24	8.07	8.11	8.29	8.41	8.09	7.94	7.29	8.16	7.45	7.49
	D	0.05	0.09	0.04	0.09	0.16	0.08	0.15	0.14	0.16	0.07	0.04
	D/M	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01

Tabla 4.9.- pH

E-3	M	4.91	6.07	6.82	5.26	5.84	3.54	5.62	4.30	4.16	4.79	6.29
	D	2.01	2.91	1.26	1.04	1.44	0.90	0.88	0.95	0.94	1.20	0.99
	D/M	0.41	0.48	0.19	0.19	0.25	0.16	0.16	0.22	0.23	0.25	0.16
E-2	M	4.70	3.48	7.41	6.26	5.29	4.55	5.61	3.49	4.25	4.86	7.02
	D	1.49	0.97	1.25	0.62	1.07	0.97	1.18	1.49	0.84	1.51	1.71
	D/M	0.32	0.28	0.17	0.09	0.20	0.21	0.21	0.43	0.19	0.31	0.24
E-1	M	8.30	3.16	7.22	6.26	4.63	4.79	5.15	2.93	5.13	5.19	7.26
	D	1.08	0.87	1.88	0.49	0.65	0.93	0.85	0.57	0.50	1.32	1.10
	D/M	0.13	0.28	0.26	0.08	0.14	0.19	0.17	0.19	0.09	0.25	0.15

Tabla 4.10.- Oxígeno disuelto

Los valores medios (Tabla 4.10) oscilaron desde un mínimo de 2.94 mg/l (D/M=0.19) en septiembre a un máximo de 8.3 mg/l (D/M=0.13) en febrero. Ambos valores se dieron en la estación 1.

El mínimo absoluto fue de 0.5 mg/l en el fondo, durante el mes de marzo. En todas las estaciones, los máximos se encontraron en los meses de abril y diciembre. Es frecuente encontrarse con valores más altos de oxígeno en profundidad que en superficie. En el mes de abril, en todas las estaciones, el agua de fondo estuvo más oxigenada que la de superficie, alcanzando, a veces, valores de 8.4 mg/l de oxígeno disuelto. También fue frecuente la aparición de bolsas de agua más oxigenada en el punto medio. Tal es el caso de la estación 2 en los meses de septiembre y octubre. Cabe pensar, que las capas superficiales presentaron una pérdida neta de oxígeno en los procesos de intercambio con la atmósfera.

Los máximos obtenidos en el agua de fondo podrían ser debidos a la entrada de un agua más oxigenada con la marea.

En la figura 4.18 se ha representado los perfiles de oxígeno por meses en las tres estaciones y en los tres estados de marea. En todos los casos los valores de oxígeno disuelto fueron más altos en bajamar que en pleamar. Son muy frecuentes los perfiles en los que el aumento en la concentración de oxígeno es continuo hasta el punto medio, para luego descender posteriormente hasta llegar al fondo (figura 4.18). En la estación 1 es frecuente encontrarse con perfiles en los que la concentración de oxígeno no varió o lo hizo muy poco.

Para contrastar la significación estadística de los valores medios, se efectuó el análisis de la varianza jerarquizado. Los resultados del análisis (Tabla 4.11) rechazan las hipótesis de homogeneidad en todas las estaciones y para todas las fuentes de variación, excepto para las masas de agua de la estación 1, con una probabilidad de error $p > 0.05$ (inferior al 5%).

Los resultados de comparar las medias, en relación a las tres fuentes de variación -masas de agua, ciclo mareal y meses de muestreo- se presenta en la figura 4.19.

Masas de agua:

Estación 3

Se dio una diferencia significativa entre el agua de fondo (M = 4.75 mg/l) y los restantes puntos (M = 5.36 mg/l).

Estación 2

Los litorales (M = 5.5 mg/l) con el agua central (M=4.96 mg/l).

Estación 1

Se acepta la hipótesis de homogeneidad entre las masas de agua, al comparar la F teórica con la F experimental. Sin embargo, al realizar la prueba de Tuckey, aparecen diferencias entre el agua de superficie (M=5.5 mg/l) con el agua de fondo (M = 5.3 mg/l) siendo homogéneas las demás masas de agua.

Ciclo mareal:

Como habíamos indicado, el agua de la ría está sujeta a variaciones mareales y el análisis estadístico refleja este hecho. En las tres estaciones aparece diferencia significativa entre bajamar y pleamar. La media marea subiendo no se diferencia significativamente de bajamar en la estación 3; mientras que en las estaciones 1 y 2 son significativamente diferentes entre sí, tanto bajamar como pleamar.

En pleamar hay menos oxígeno que en bajamar. Las medias de la concentración de oxígeno disuelto en los tres estados de marea, en cada estación, se dan en la tabla siguiente:

	E-1	E-2	E-3
Bajamar	6.19 mg/l	5.87 mg/l	5.82 mg/l
Media B→P	5.56 mg/l	5.20 mg/l	5.49 mg/l
Pleamar	4.63 mg/l	4.49 mg/l	4.41 mg/l

Ciclo anual:

De los resultados correspondientes de comparar los meses de muestreo dos a dos en cada estación, se deduce lo siguiente:

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

En las tres estaciones de muestreo, los meses de abril y diciembre fueron homogéneos dándose en ellos los valores máximos de oxígeno (estación 1, M = 7.24 mg/l; estación 2, M +=7.2 mg/l; estación 3 M = 6.55 mg/l).

Para el resto de los meses, no existe patrón de homogeneidad y la agrupación no fue la misma en las tres estaciones.

Estación 1

Aparecieron tres grupos:

-Febrero (M = 8.3 mg/l).
-Junio, Julio, Agosto, Octubre y Noviembre (M = 4.98 mg/l).
-Septiembre, Marzo (M = 3.1 mg/l).

Estación 2

-Mayo (M = 6.26 mg/l).
-Febrero, Junio, Julio, Octubre y Noviembre (M = 4.6 mg/l).
-Septiembre, Marzo (M = 3.48 mg/l).

Estación 3

-Mayo, Junio, Agosto (M = 5.58 mg/l).
-Febrero, Noviembre, Septiembre (M = 4.67 mg/l).
-Octubre (M = 4.16 mg/l).
-Julio (M = 3.54 mg/l).

Las variaciones temporales están relacionadas con la descarga del río y la temperatura, de tal manera que los mayores valores en todas las estaciones, a excepción de la 1, se obtuvieron en los meses de abril y noviembre. En este mes aumento el caudal del río (10.4 m^3/seg).

En los meses de verano hubo un aumento de temperatura y de salinidad y cabe pensar que las capas superficiales presentaron una pérdida neta de oxígeno en los procesos de intercambio con la atmósfera. A pesar de la poca descarga del río en verano, los valores medios de oxígeno se mantuvieron en buenos límites (3 a 5.8 mg O_2/l).

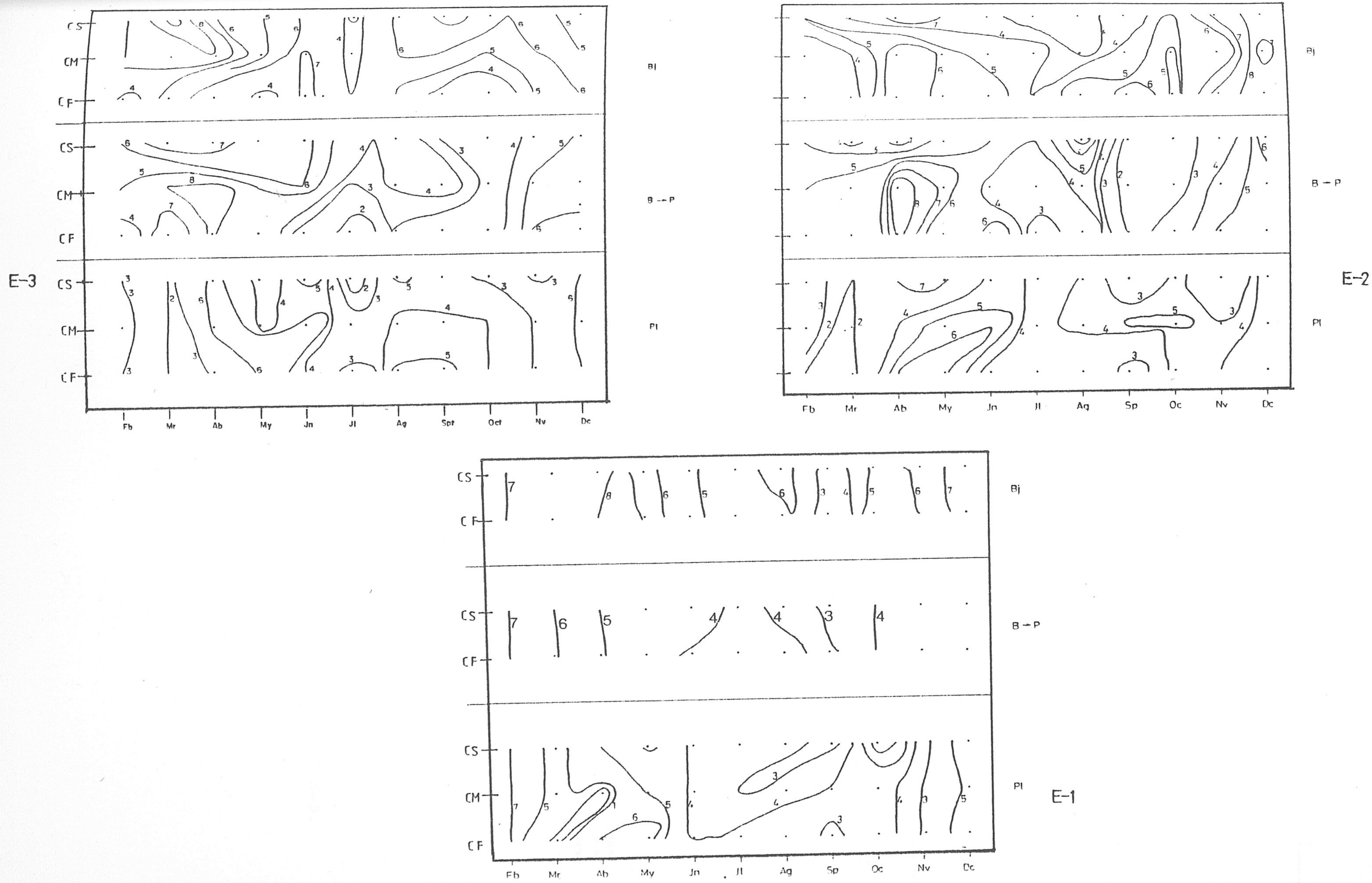


Figura 4.17.- Distribución temporal del Oxígeno disuelto (mg/l) en el punto central de las tres estaciones de muestreo y en los tres estados de marea (Bj: Bajamar; B-P: Media; Pl:Pleamar).

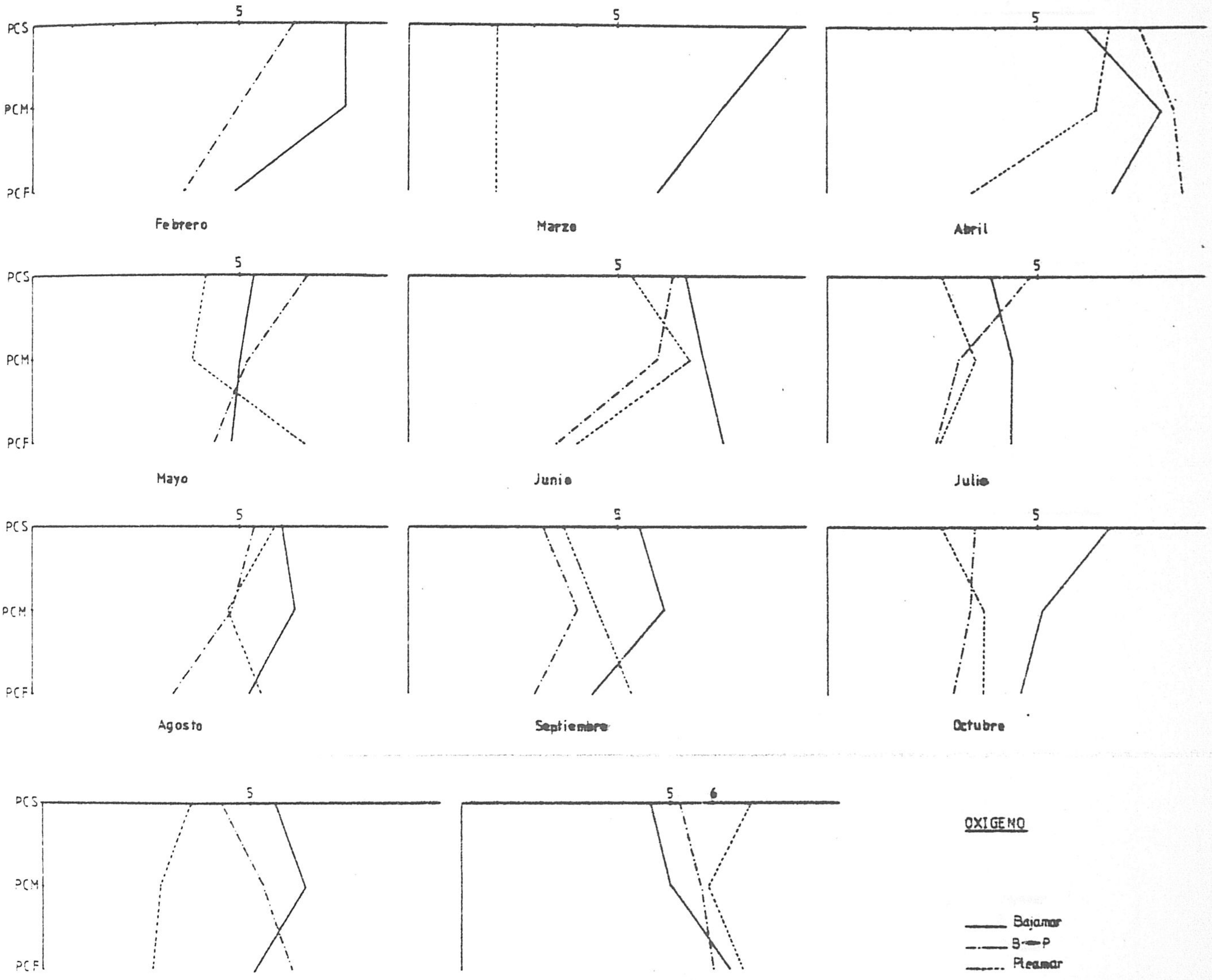


Figura 4.18.- Perfiles verticales de Oxígeno disuelto (mg/l) en E-3.

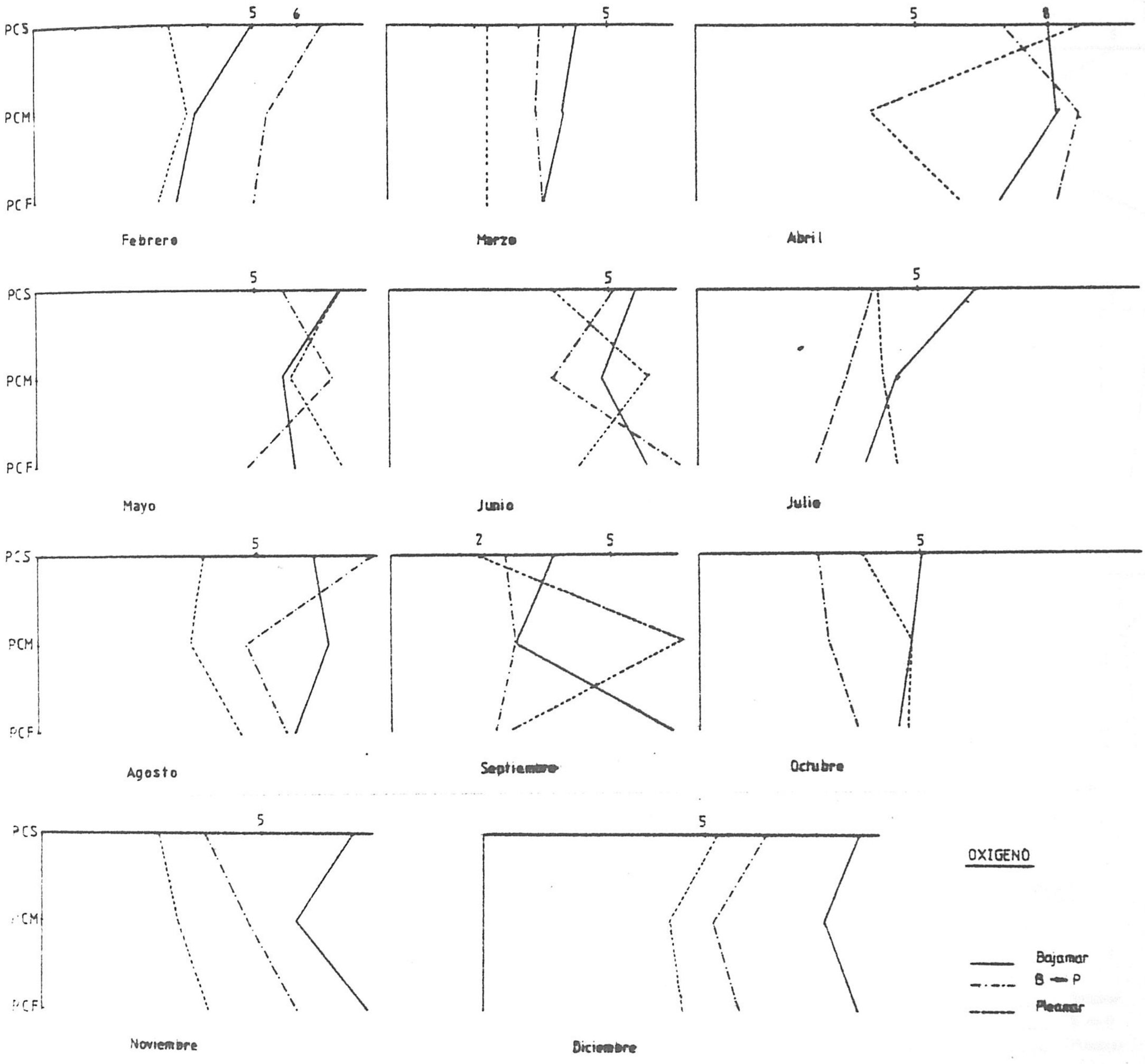


Figura 4.18.- (Continuación) E-2.

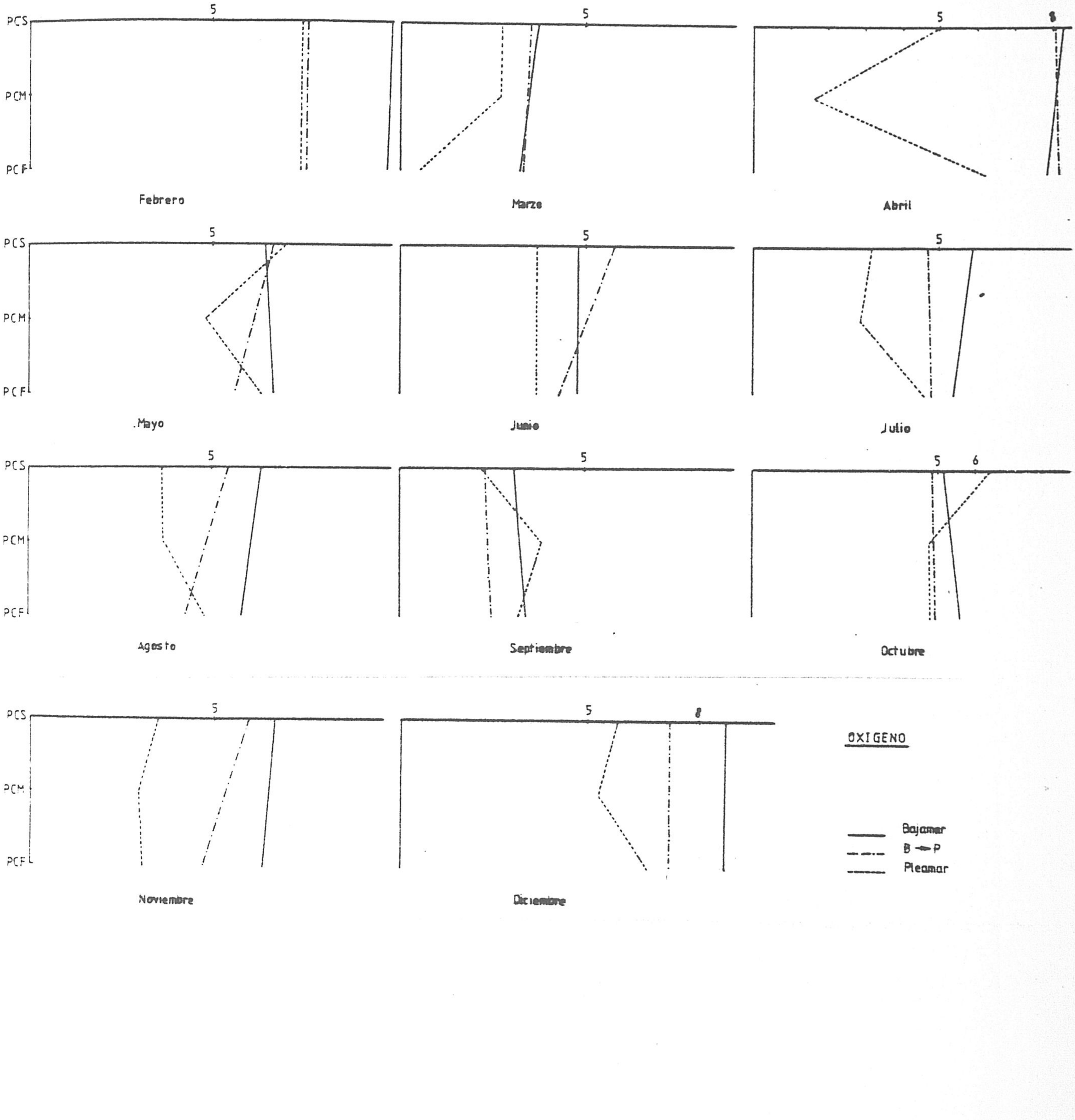


Figura 4.18.- (Continuación) E-1 .

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$5.16.10^{-2}$	$1.29.10^{-2}$	4.13 *
Meses de muestreo	10	0.75	$7.48.10^{-2}$	23.97 *
Error masas de agua	40	0.13	$3.119.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.36	0.18	14.04 *
Masas de agua por ciclo	8	$5.42.10^{-2}$	$6.77.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	100	1.27	0.013	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$6.075.10^{-2}$	$1.519.10^{-2}$	3.88 *
Meses de muestreo	10	1.335	0.133	34.13 *
Error masas de agua	40	0.156	$3.911.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.325	0.162	20.61 *
Masas de agua por ciclo	8	$4.065.10^{-2}$	$5.081.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	100	0.788	$7.881.10^{-3}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$2.232.10^{-2}$	$5.581.10^{-3}$	1.71
Meses de muestreo	10	2.093	0.209	64.06 *
Error masas de agua	40	0.131	$3.268.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.344	0.172	32.97 *
Masas de agua por ciclo	8	$3.297.10^{-2}$	$4.122.10^{-3}$	32.97 *
Error mto. del ciclo	100	0.522	$5.219.10^{-3}$	

G.L. : Grados de libertad
S.C. : Suma de cuadrados
C.M. : Cuadrados medios
* : Significativo

Tabla 4.11. Análisis de la varianza. Oxígeno disuelto

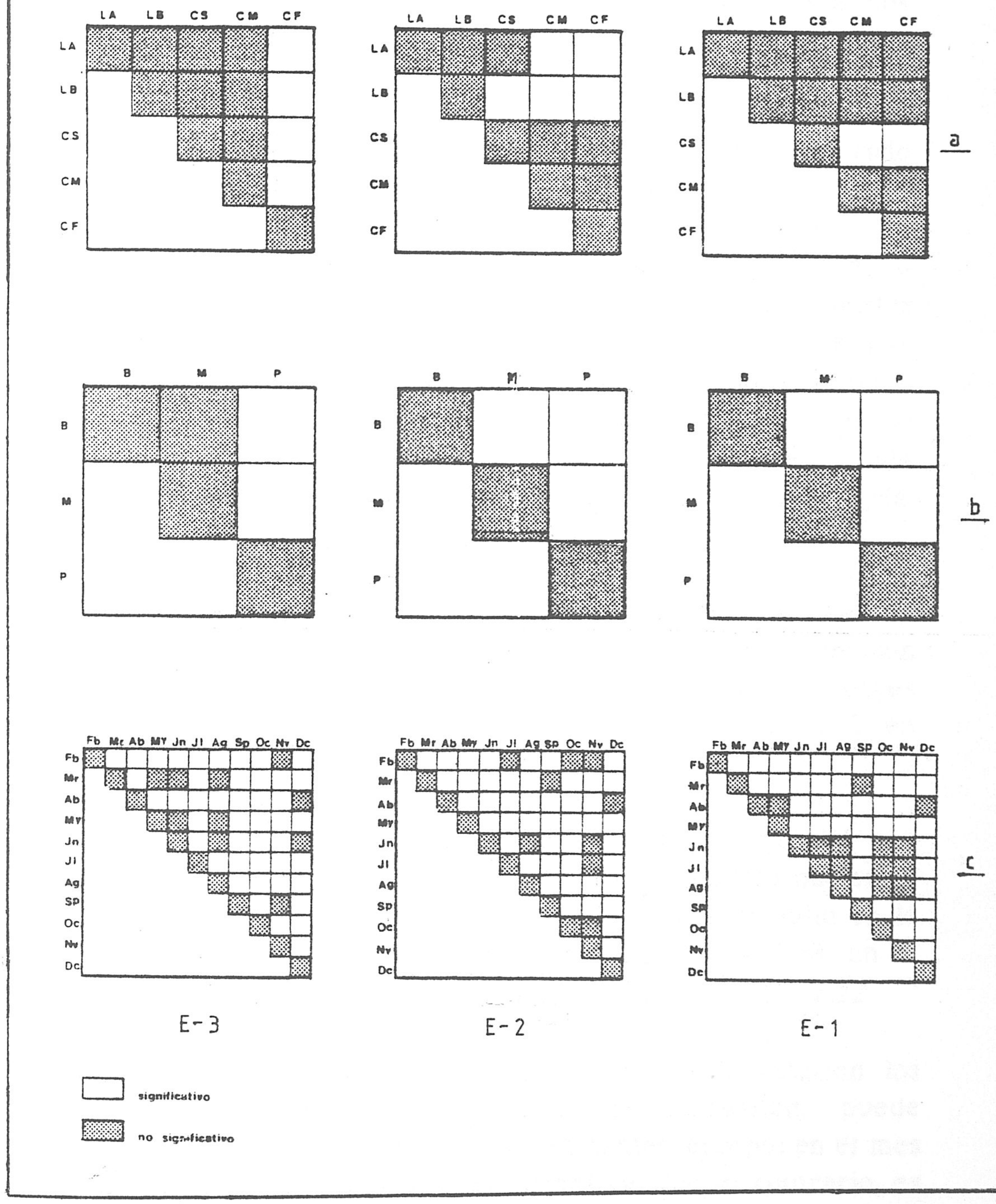


Figura 4.19.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de Oxígeno disuelto.

4.8.- NUTRIENTES

4.8.1.- Nitratos

Los nitratos presentaron una estratificación longitudinal y vertical, disminuyendo la concentración de éstos a medida que nos acercamos a la desembocadura y en profundidad.

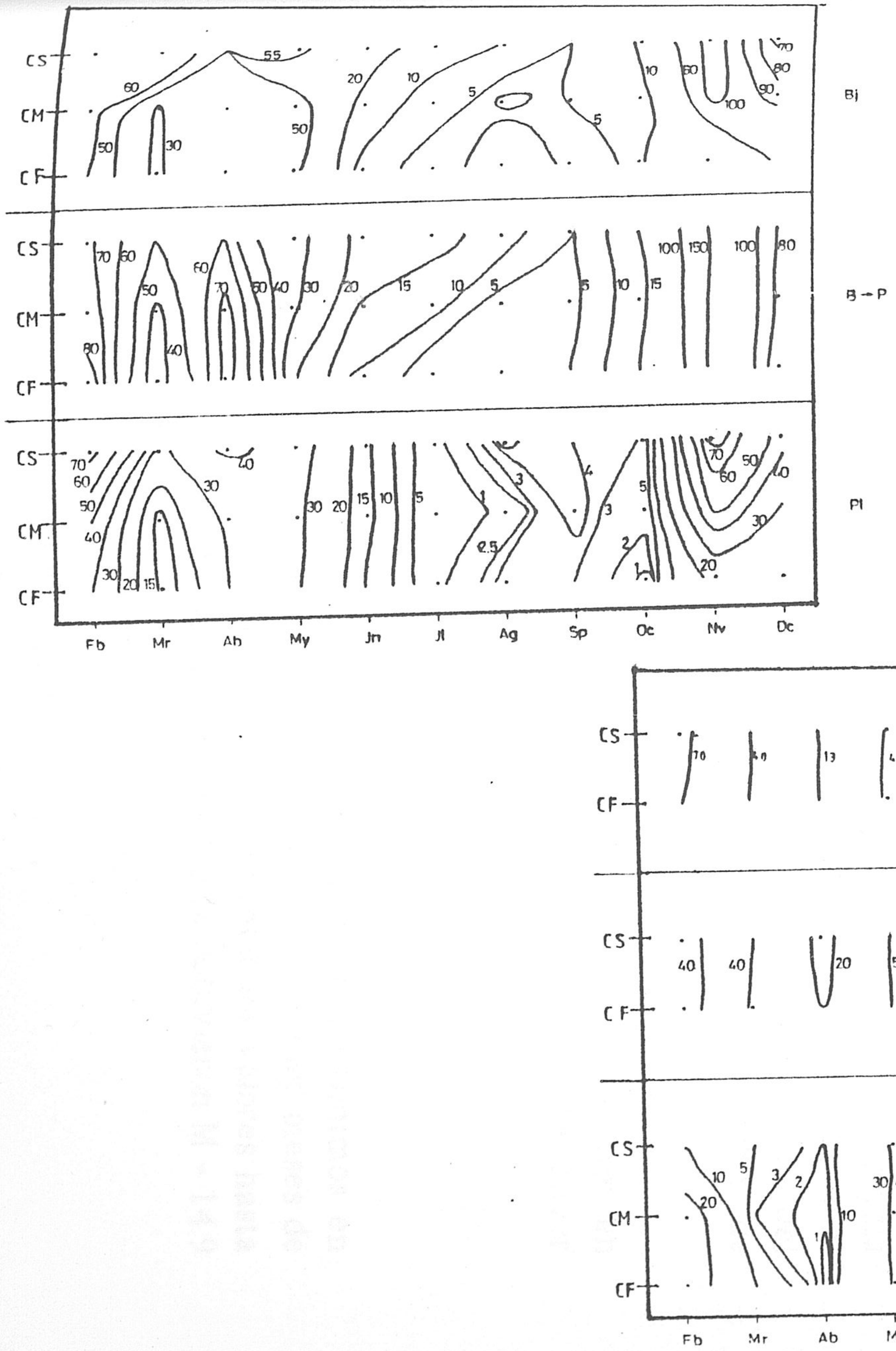
En la figura 4.20 se muestra las variaciones en la concentración de nitratos en las tres estaciones de muestreo a lo largo del ciclo estudiado.

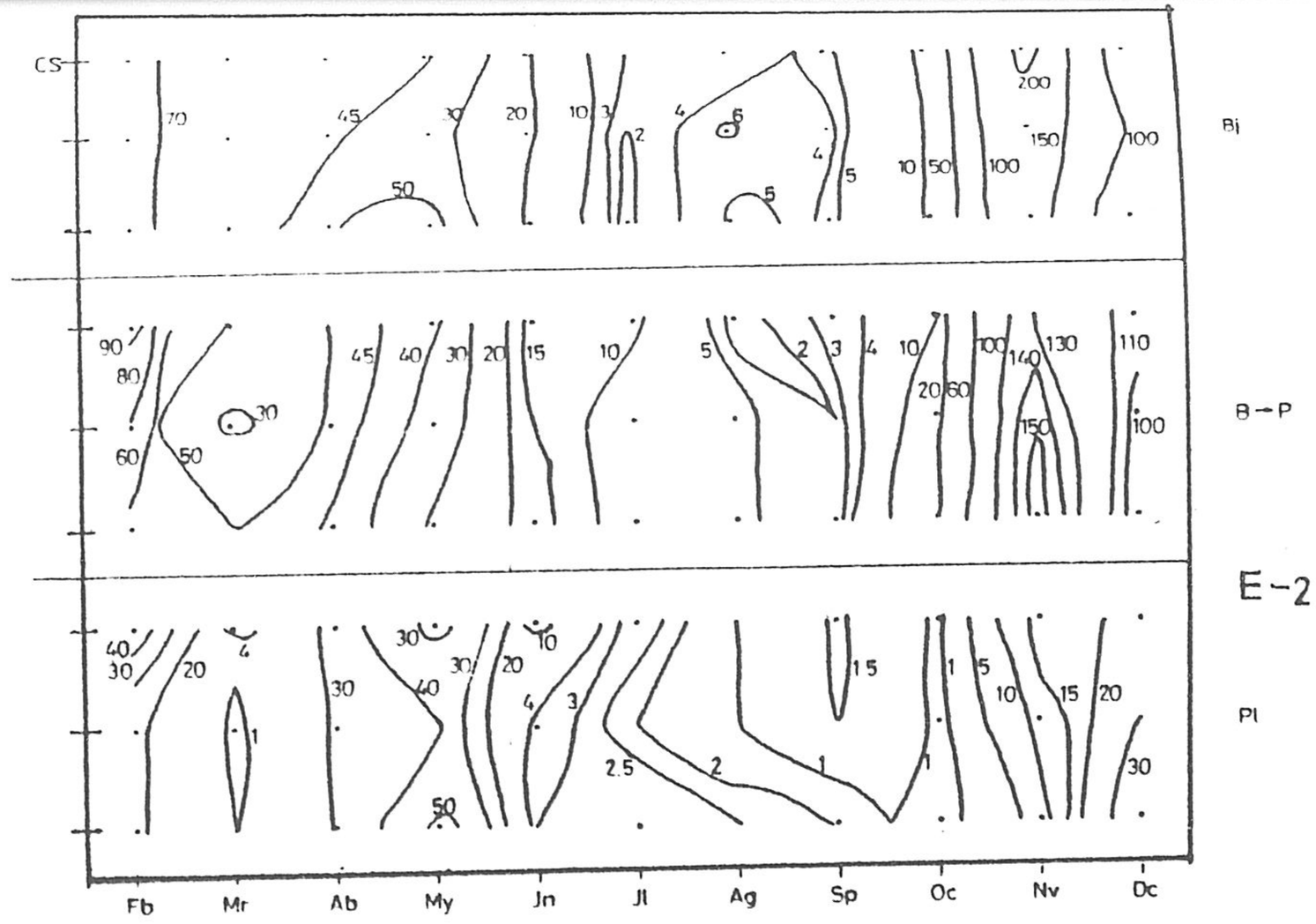
Las concentraciones fueron elevadas en invierno (M = 68.43 μ grat N/l D = 10.76 para la estación 3 en febrero) y en la época de fuertes lluvias (48.65 μ grat N/l D = 6.01 para la estación 1 en mayo). En verano, las concentraciones de nitratos fueron notablemente menores (4.64 μ grat N/l, D = 1.27 en la estación 3 y 2.61 μ grat N/l, D = 0.97 en la estación 1 en septiembre). El origen de esta disminución se puede adjudicar a los más bajos caudales del río, principal fertilizante de la ría, y a la acción asimiladora del fitoplancton, más activa en verano.

La regeneración de invierno de los nitratos comenzó después de la situación de agotamiento de octubre; con nuevos aportes y disminución del consumo. En el mes de noviembre de nuevo se alcanzaron valores altos; así, se detectaron hasta 200 μ grat N/l en la estación 2 en superficie.

La variación longitudinal que se produce a lo largo del año mostró las mayores concentraciones en la estación 3, mientras que en la estación 1 presentó valores más bajos. Así, por ejemplo, en julio en la estación 3 se obtuvieron valores de 10.51 μ grat N/l, D = 7.08; en la estación 2, 4.25 μ grat N/l; D = 3.05 y en la 1, 3.67 μ grat N/l, D = 2.22.

En la Tabla 4.12, donde se muestran para cada estación los valores medios, varianzas y coeficientes de dispersión, puede comprobarse cómo la estación 3 superó a las restantes, excepto en el mes de mayo, en donde el gradiente que se estableció fue el contrario, es decir, mayor concentración de nitrato en la estación 1 (M = 48.6 D = 6.01) que en la 3 (M = 39.4D = 10.6), debido a las fuertes lluvias que diluyeron el caudal del río.





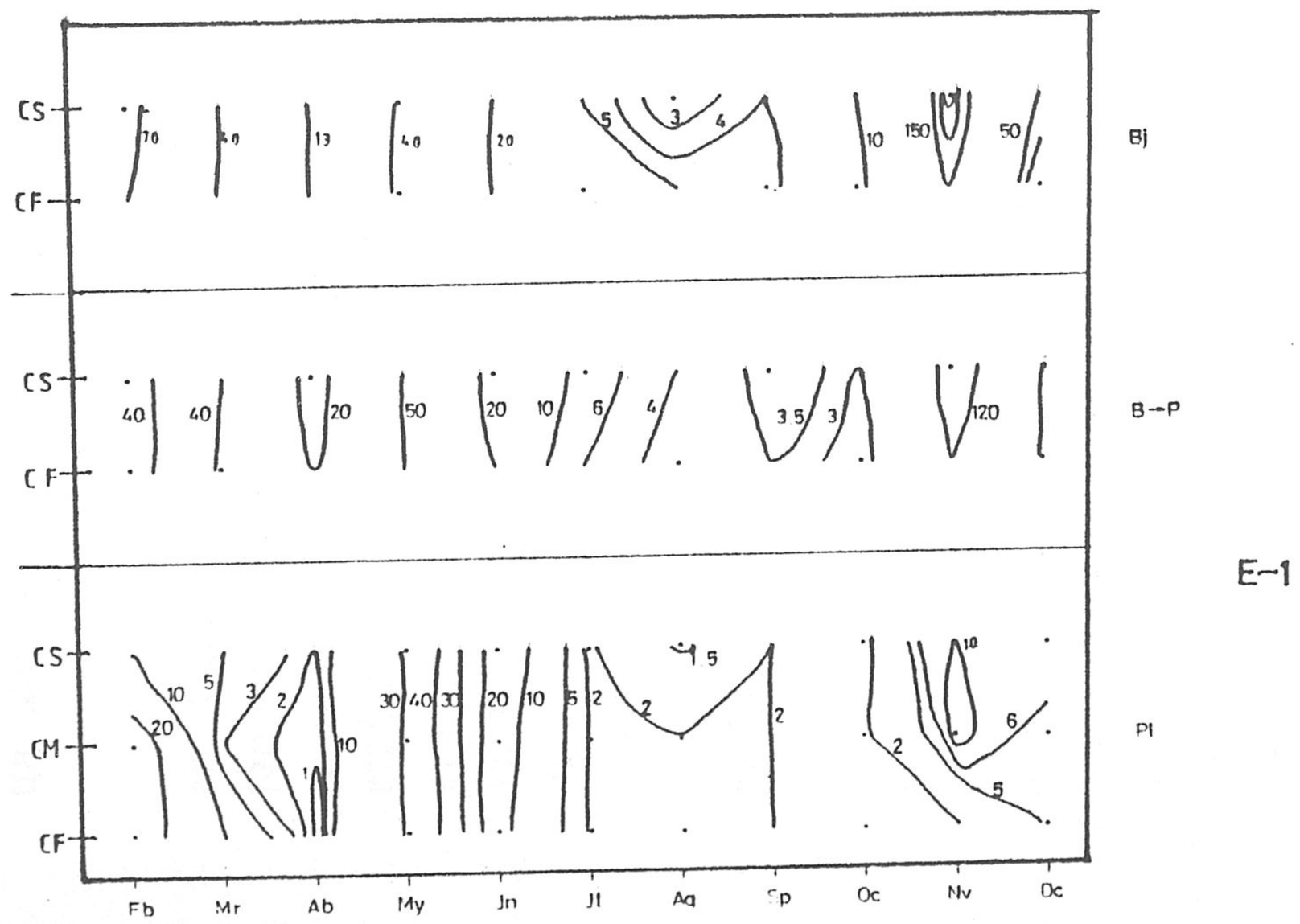


Figura 4.20.- Distribución temporal de los Nitratos (µgratN/l) en el punto central de las tres estaciones de muestreo y en los tres momentos de marea (Bj.=Bajamar; B-P= Media; Pl.=Pleamar).

Los nitratos variaron inversamente con la salinidad, se encontraron gradientes verticales en todas las estaciones en los tres estados de marea (figura 4.20). Las mayores concentraciones de nitrato se encontraron en bajamar y media marea subiendo.

4.8.2.- Nitritos

Los valores medios y dispersiones obtenidos se muestran en la Tabla 4.13.

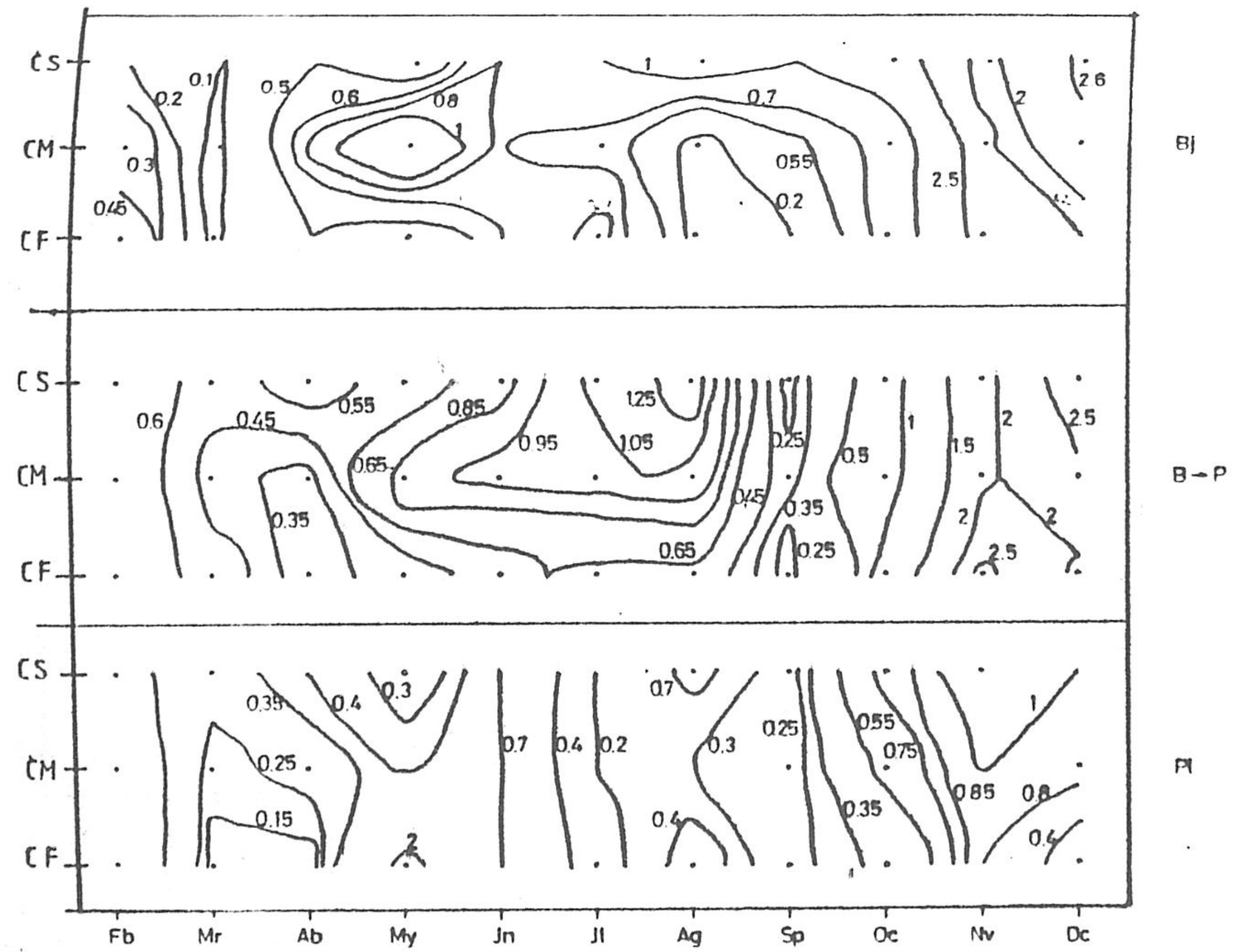
La distribución de los nitritos a lo largo del ciclo anual (figura 4.21) sigue prácticamente la pauta de los nitratos, con valores que se mantuvieron generalmente bajos. Las concentraciones que frecuentemente se encontraron oscilaron entre 0.5 y 2 μ grat N/l. Los máximos se obtuvieron en noviembre y diciembre y los mínimos en pleamar en julio, llegando a estar por debajo del límite de detección del método (0.05 μ grat N/l en la estación 1).

La estratificación vertical de los nitritos no es tan clara como la de los nitratos, aumentando algunas veces de superficie a fondo o disminuyendo, es frecuente encontrarse con los valores más altos de la columna de agua en el punto medio o fondo; así, aparece en el mes de mayo, tanto en la estación 2 como en la 3, una capa a 1.5 m con mayor concentración de nitrito que en superficie y fondo (1.4 μ grat N/l en la estación 3 y 0.9 μ grat N/l en la estación 2). En noviembre, en media marea en la estación 3 y en bajamar en la 2, aparecen los máximos en el fondo. No hay que olvidar que el nitrito es una especie intermedia del nitrógeno inorgánico y su concentración depende de procesos de oxidación o reducción.

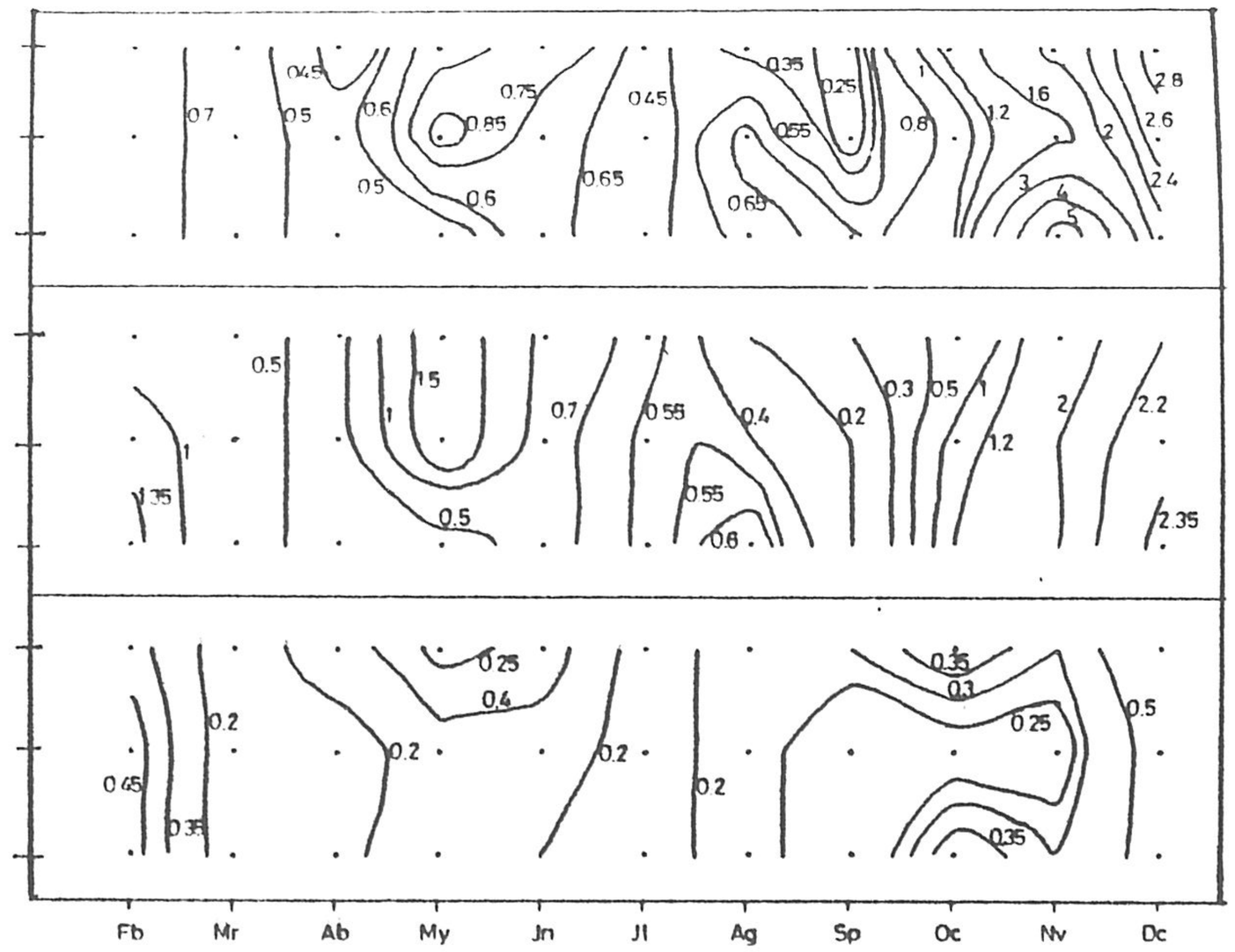
Los máximos de nitritos encontrados suelen coincidir con un valor alto del coeficiente de extinción de la luz, indicativo de una mayor turbidez.

4.8.3.- Amonio

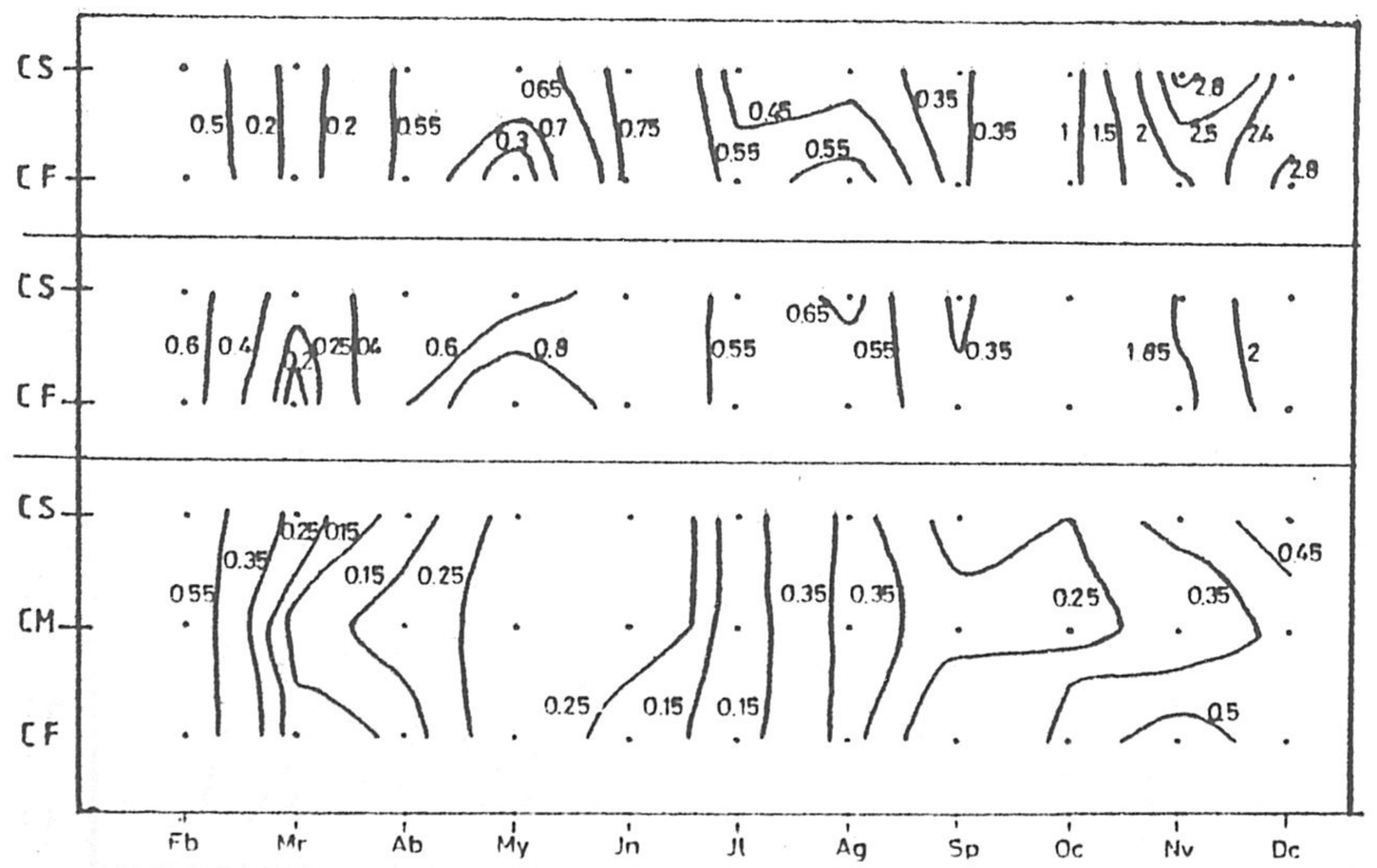
El ciclo anual del amonio, (figura 4.22), presentó mínimos en marzo (M = 0.76 μ grat N/l; D = 0.38 en la estación 2) y en los meses de julio y agosto. En septiembre comenzaron a aumentar los valores hasta alcanzar el máximo en diciembre (en la estación 3 se obtuvieron M = 14.9 μ grat N/l; D = 9.71).



E-3

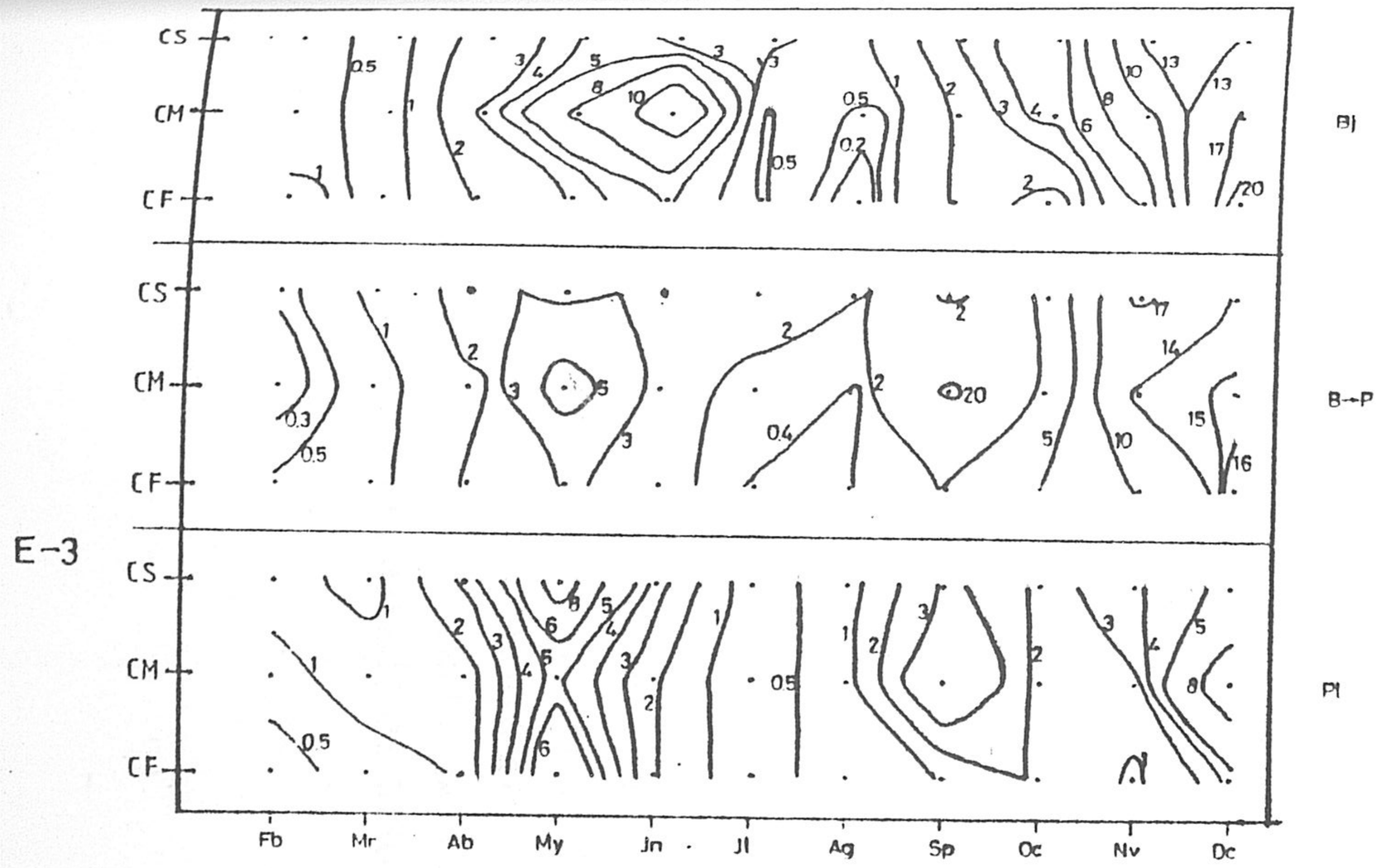


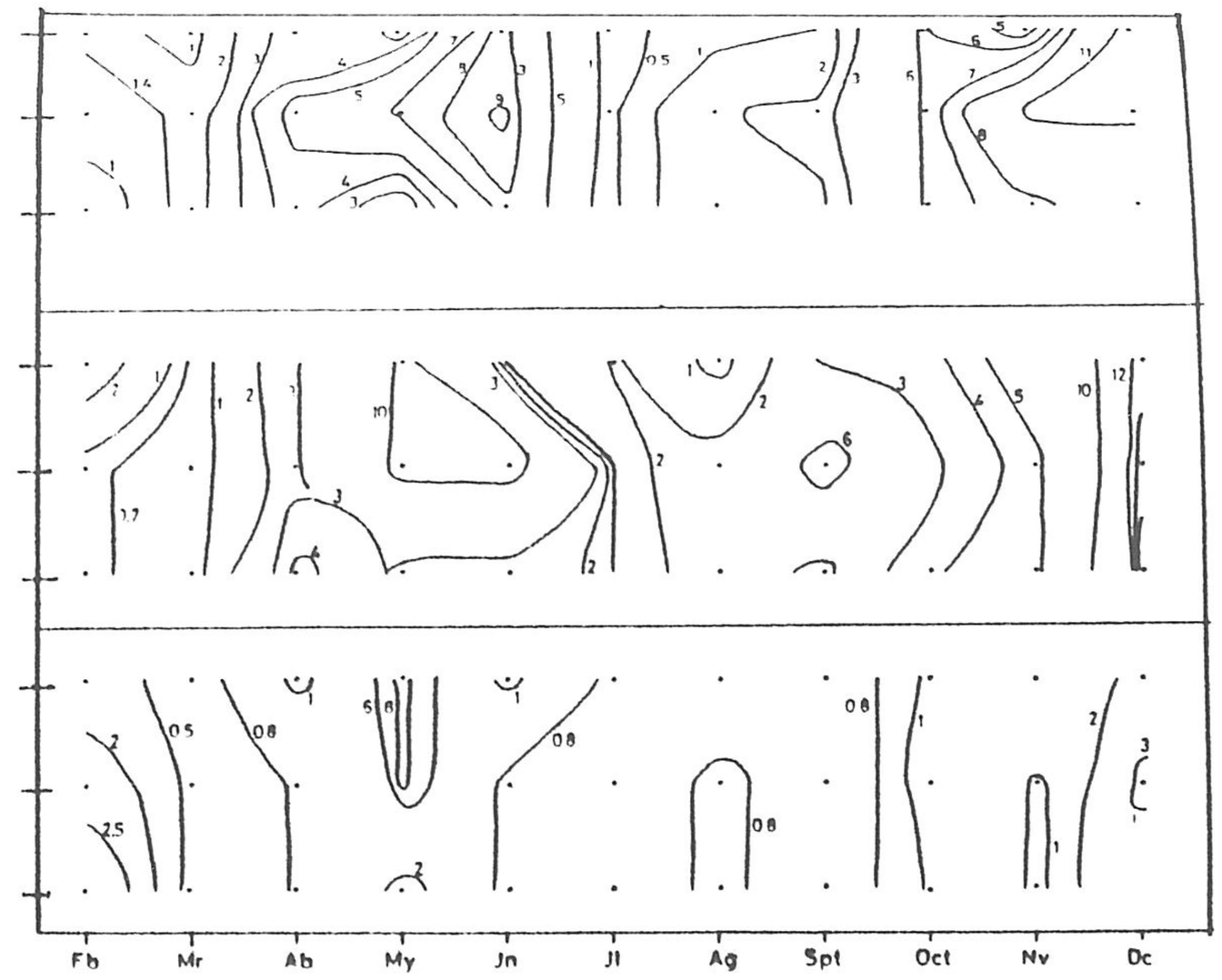
E-2



E-1

Figura 4.21.- Distribución temporal de los Nitritos (µgrat/l) en el punto central de las tres estaciones de muestreo y en los tres momentos de marea (Bj:bajamar; B-P: Media; Pl:Pleamar).





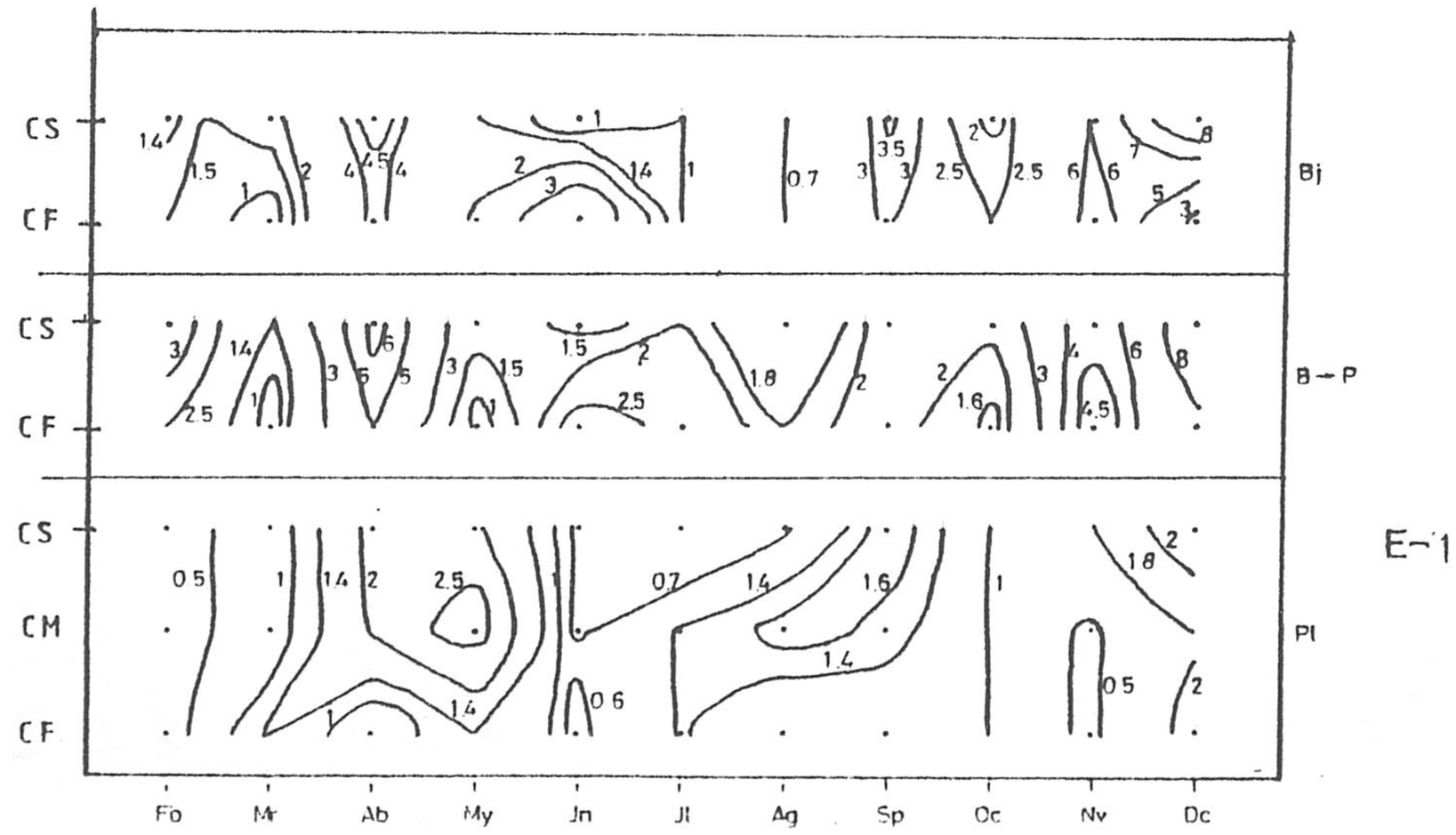


Figura 4.22.- Distribución temporal del Amonio (µgrat N/l) en el punto central de las tres estaciones de muestreo y en los tres momentos de marea (Bajamar :Bj; Media: B-P; Pleamar :Pl).

El amonio se comporta de manera diferente a los demás nutrientes (nitratos) ya que éstos mantuvieron bajas concentraciones hasta octubre; sin embargo, la regeneración del amonio, después del período de agotamiento del verano, se produjo un mes antes. Esto es debido a la mineralización de la materia orgánica.

Los perfiles verticales que se encontraron a lo largo del ciclo estudiado fueron variables. En algunos meses la concentración fue homogénea en toda la columna de agua; por ejemplo, en julio, en el estado de marea de pleamar, se obtuvieron concentraciones de 0.36 μ grat N/l en la estación 3 y de 0.71 μ grat N/l en la estación 2. En otras ocasiones, se establecieron gradientes verticales de superficie a fondo (noviembre, bajamar en la estación 3: 14.3 μ grat N/l en superficie; 10.7 μ grat N/l en el punto medio y 6 μ grat N/L en el fondo). También es frecuente encontrarse máximos de amonio en el punto medio (junio en las estaciones 2 y 1 en bajamar).

La variabilidad longitudinal no mostró ninguna tendencia constante.

Las medias y coeficientes de dispersión se muestran en la Tabla 4.14.

Del total de nitrógeno inorgánico que existe en la ría, la mayor parte se encuentra en forma de nitrato. En la Tabla 4.15 se expresa el tanto por ciento de cada una de las especies (nitrato, nitrito y amonio) del nitrógeno que contribuyen al total.

La contribución relativa de cada especie al nitrógeno inorgánico disponible presenta una variabilidad temporal. Desde febrero a agosto el nitrato es el mayoritario (más del 80% en casi todos los puntos); en septiembre, en las tres estaciones el amonio representa el 40%; en octubre, la contribución también es alta, mientras que en noviembre y diciembre vuelve a disminuir.

A finales de verano, como hemos dicho, hubo disminución de nutrientes, como consecuencia del crecimiento del fitoplancton y del poco aporte del río. El aumento en la concentración de amonio en el mes de septiembre nos indicaría la importancia de la remineralización del nitrógeno hasta el estado de amonio.

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

		Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
E-3	M	68.43	41.41	52.79	39.45	16.44	10.51	6.07	4.64	9.53	106.53	67.04
	D	10.76	19.30	13.13	10.59	5.15	7.08	3.91	1.27	4.97	40.58	26.54
	D/M	0.16	0.47	0.25	0.27	0.31	0.67	0.64	0.27	0.52	0.38	0.40
E-2	M	60.85	28.36	42.40	42.74	13.96	4.25	4.49	2.82	7.75	117.24	73.41
	D	27.36	19.64	6.37	8.65	5.87	3.05	2.88	1.01	5.56	65.61	35.09
	D/M	0.45	0.69	0.15	0.20	0.42	0.72	0.64	0.36	0.72	0.56	0.48
E-1	M	55.58	28.47	9.93	48.65	18.42	3.67	2.99	2.61	4.17	100.11	37.71
	D	27.40	16.46	6.51	6.01	4.18	2.20	1.72	0.97	3.57	68.35	23.94
	D/M	0.49	0.58	0.66	0.12	0.23	0.60	0.58	0.37	0.86	0.68	0.63

Tabla 4.12.- Nitratos

E-3	M	0.62	0.31	0.41	0.67	0.71	0.69	0.78	0.30	0.03	1.80	1.86
	D	0.18	0.19	0.13	0.54	0.18	0.39	0.40	0.26	0.20	0.60	0.86
	D/M	0.29	0.61	0.32	0.81	0.25	0.56	0.51	0.87	0.24	0.33	0.46
E-2	M	0.70	0.41	0.33	0.70	0.70	0.36	0.57	0.24	0.81	1.72	2.33
	D	0.30	0.24	0.12	0.54	0.21	0.20	0.36	0.15	0.38	1.38	1.74
	D/M	0.43	0.58	0.36	0.77	0.30	0.55	0.63	0.62	0.47	0.80	0.75
E-1	M	0.71	0.21	0.45	0.57	0.60	0.31	0.60	0.28	0.49	1.63	1.84
	D	0.29	0.14	0.21	0.35	0.21	0.19	0.23	0.10	0.26	1.00	0.86
	D/M	0.41	0.67	0.47	0.61	0.35	0.61	0.38	0.36	0.53	0.61	0.47

Tabla 4.13.- Nitritos

E-3	M	0.69	0.92	2.63	8.54	3.58	1.64	0.86	3.42	3.01	9.50	14.90
	D	0.40	0.32	0.79	7.56	3.29	1.37	0.63	4.62	1.74	5.41	9.71
	D/M	0.58	0.35	0.30	0.88	0.92	0.83	0.73	1.35	0.58	0.57	0.65
E-2	M	4.11	0.76	3.30	6.84	3.66	0.91	1.47	1.93	7.93	4.34	8.14
	D	9.63	0.38	1.60	5.61	3.54	0.61	0.67	1.90	16.11	3.23	4.28
	D/M	3.34	0.50	0.48	0.82	0.97	0.67	0.45	0.98	2.03	0.74	0.52
E-1	M	2.20	0.98	3.96	2.75	2.06	1.60	1.19	2.04	1.39	3.57	6.39
	D	1.79	0.41	1.81	2.74	1.55	0.53	0.41	0.76	0.45	2.04	3.36
	D/M	0.81	0.42	0.46	1.00	0.75	0.33	0.34	0.37	0.32	0.57	0.52

Tabla 4.14.- Amonio

Tabla 4.15. CONTRIBUCION DE LAS ESPECIES DEL NITROGENO INORGANICO AL TOTAL

E-3	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Total	69.12	42.33	55.42	47.99	20.02	12.15	6.9	8.06	12.54	116.03	81.94
% NO_3^-	99%	97.8%	95.2%	82.2%	81.1%	86.5%	87.9%	57.56%	75.99%	91.8%	81.8%
% NH_4^+	0.1%	2.2%	4.7%	17.8%	17.9%	13.5%	12.07%	42.43%	24.01%	8.2%	18.18%
E-2											
Total	64.96	29.12	45.7	49.58	17.56	5.16	5.96	4.75	15.68	12.16	81.55
% NO_3^-	93.7%	97.4%	92.8%	86.12%	79.44%	82.4%	75.3%	57.37%	49.42%	96.4%	90%
% NH_4^+	6.3%	2.6%	7.2%	13.87%	20.56%	17.64%	24.7%	40.6%	50.6%	3.6%	10%
E-1											
Total	58	29.45	13.88	51.4	20.48	5.27	4.17	4.65	5.56	103.6	44.1
% NO_3^-	95.9%	96.7%	71.32%	94.6%	89.9%	70.2%	71.7%	56.12%	75%	96.5%	85.5%
% NH_2^-	4.1%	3.3%	28.7%	5.4%	10.1%	29.8%	28.3%	43.87%	25%	3.5%	14.5%

4.8.4.- Fosfatos

Los cambios en la concentración de fosfato inorgánico disuelto en la columna de agua de cada estación se muestran en la figura 4.23.

El ciclo anual es parecido a los demás nutrientes, si bien presentó ligeros matices.

En la estación 3 se obtuvo un máximo en superficie para el mes de marzo en bajamar que alcanzó los 8.5 μ grat P/l; en abril descendieron los valores, tanto en bajamar como en pleamar, para aumentar de nuevo en mayo.

Durante los meses de verano, los fosfatos disminuyeron, aunque se presentó en agosto bajamar y en superficie un aumento de éstos con valores de 1.5 μ grat P/l. La recuperación de los fosfatos a los niveles invernales se hizo, igual que el amonio, un mes antes a la de los demás nutrientes (nitratos y silicatos), encontrándose en octubre valores medios de 1.27 μ grat P/l; D = 0.67. A lo largo del año todos los valores de pleamar fueron inferiores a los de bajamar (figura 4.23).

En la estación 2, en bajamar los máximos se obtuvieron en noviembre (M = 2.28 μ grat P/l; D = 0.86); generalmente, los valores de pleamar fueron superiores a los de bajamar. El máximo puntual se obtuvo en esta estación en superficie en el mes de abril pleamar, con 6.3 μ grat P/l.

La estación 1 presentó dos máximos bien marcados: uno correspondiente al mes de mayo y otro al de noviembre.

En la Tabla 4.16 se presentan los valores medios y dispersiones a lo largo del año para las tres estaciones.

La estación que más fosfato presentó fue la 2, seguida de la 1 y la 3.

Como resumen, podemos decir que en las tres estaciones se dieron los máximos de fosfatos en los meses de mayo y noviembre, en cualquier estado de marea, y que el aporte de este nutriente a la ría resulta de la mezcla del agua fluvial con el agua nerítica.

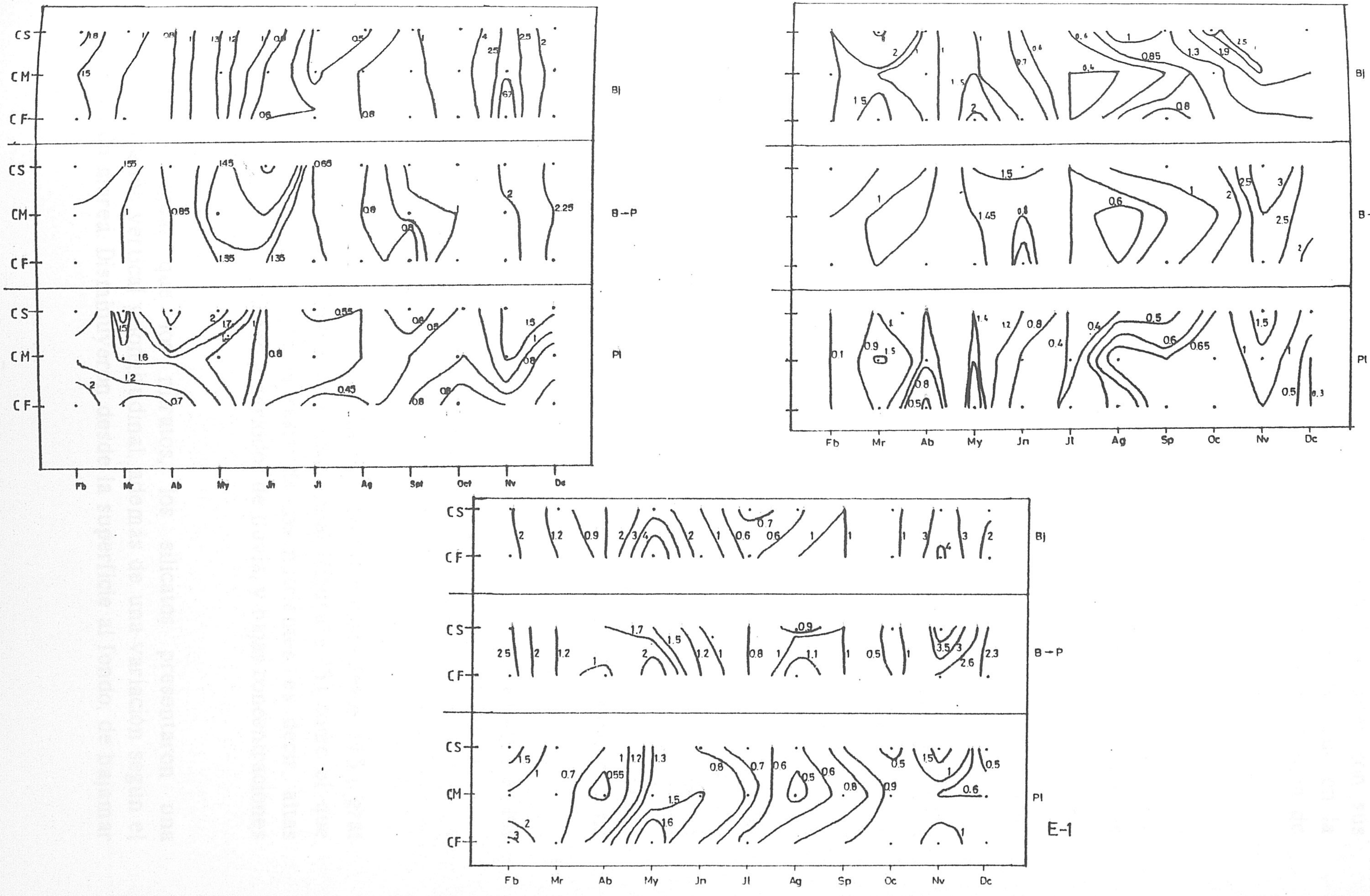


Figura 4.23.- Distribución temporal de los Fosfatos (µgrat P/l) en el punto central de las tres estaciones de muestreo y en los tres momentos de marea.

La estratificación vertical a veces mostró gradientes con sus máximos en las aguas más inferiores, (figura 4.23) sobre todo en la estación 1, en donde los niveles más altos correspondieron al agua de fondo.

4.8.5.- Relación N:P

La cantidad relativa de nitrógeno y fósforo en aguas naturales y en el plancton puede ser usada como índice de posible limitación de nutrientes.

Según REDFIELD (1934) el valor medio de este cociente en agua de mar es 16:1.

La tasa que calculamos es la correspondiente a la suma del NO^-_3 + NO^-_2 + NH^+_4 respecto a la cantidad de fosfato soluble encontrado.

Las medias y dispersiones se presentan en la Tabla 4.17.

La distribución de esta relación fue muy irregular a lo largo del ciclo estudiado, figura 4.24. Se estableció un gradiente longitudinal a lo largo de la ría, siendo el cociente siempre mayor en la estación 3 que en la 1. En la estación 3 la media fue de 35.07 (D = 23.81), en la 2 de 27.77 (D = 19.06) y en la 1, 18.33 (D = 10.14). Esto está de acuerdo con el hecho de que el fosfato suele ser limitante con frecuencia en aguas dulces y no así en marinas.

Generalmente, los valores fueron mayores que 16, excepto en los meses de verano, en los que la concentración de nitrato disminuyó.

4.8.6.- Silicatos

En el estuario, la concentración de silicatos varió desde 115 μ grat Si/l a 2 μ grat Si/l, dándose un ciclo anual (figura 4.25) como el que venimos comentando para el resto de los nutrientes, es decir, altas concentraciones en invierno y períodos de lluvia, y bajas concentraciones en verano.

Al igual que los nitratos, los silicatos presentaron una estratificación vertical y longitudinal, además de una variación según el estado de marea. Disminuyeron desde la superficie al fondo, de bajamar

		Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
E-3	M	1.41	1.76	0.88	1.50	0.78	0.51	0.74	0.79	1.27	2.41	1.48
	D	0.97	1.84	0.16	0.23	0.33	0.13	0.36	0.19	0.67	0.73	0.72
	D/M	0.69	1.04	0.18	0.15	0.42	0.25	0.49	0.24	0.53	0.30	0.49
E-2	M	1.94	1.16	1.28	1.60	1.32	0.69	0.69	0.83	1.33	2.28	1.50
	D	0.49	0.34	1.37	0.38	1.11	0.29	0.21	0.19	1.07	0.86	0.74
	D/M	0.25	0.29	1.07	0.24	0.84	0.42	0.30	0.23	0.80	0.38	0.49
E-1	M	2.05	1.07	1.09	2.16	1.20	0.73	0.79	0.87	0.67	2.72	1.57
	D	0.64	0.34	0.56	1.01	0.30	0.22	0.22	0.16	0.35	1.14	0.73
	D/M	0.31	0.32	0.51	0.47	0.25	0.30	0.28	0.18	0.52	0.42	0.46

Tabla 4.16.- Fosfatos

E-3	M	37.85	31.30	63.70	32.76	29.25	22.06	8.74	11.19	10.63	46.75	91.54
	D	8.90	14.86	13.03	10.67	12.34	11.35	4.49	8.07	3.97	8.29	113.08
	D/M	0.24	0.47	0.20	0.33	0.42	0.51	0.51	0.72	0.37	0.18	1.24
E-2	M	35.10	25.37	49.14	33.42	15.17	7.86	8.69	5.80	11.48	49.67	63.83
	D	18.09	17.81	16.96	7.77	9.46	5.12	4.87	2.36	9.45	22.44	27.01
	D/M	0.51	0.70	0.35	0.23	0.62	0.65	0.56	0.41	0.82	0.45	0.42
E-1	M	30.20	26.19	14.06	28.23	17.45	7.55	5.34	5.18	8.67	33.21	24.48
	D	16.55	13.80	9.00	11.03	3.93	3.24	2.07	1.22	5.35	20.54	8.53
	D/M	0.55	0.53	0.64	0.39	0.23	0.43	0.39	0.24	0.62	0.62	0.35

Tabla 4.17.- Relación N:P

E-3	M	75.60	54.91	70.27	94.56	41.81	48.47	36.88	30.49	24.30	98.13	64.29
	D	11.91	18.75	22.95	4.99	4.75	26.61	13.93	12.57	8.01	30.39	24.03
	D/M	0.16	0.34	0.33	0.05	0.11	0.55	0.38	0.41	0.33	0.31	0.37
E-2	M	81.60	54.85	70.08	97.87	37.41	42.21	22.74	22.64	17.83	82.16	52.48
	D	35.36	18.96	26.13	3.15	8.37	24.83	12.47	11.17	8.46	41.03	29.99
	D/M	0.43	0.34	0.37	0.40	0.22	0.59	0.55	0.49	0.47	0.50	0.57
E-1	M	67.55	49.97	53.28	94.78	32.11	36.65	21.47	20.09	15.07	70.90	45.49
	D	29.72	24.30	31.36	9.69	19.42	22.02	11.79	10.74	8.18	45.27	26.06
	D/M	0.44	0.49	0.59	0.10	0.60	0.60	0.55	0.53	0.54	0.64	0.57

Tabla 4.18.- Silicatos

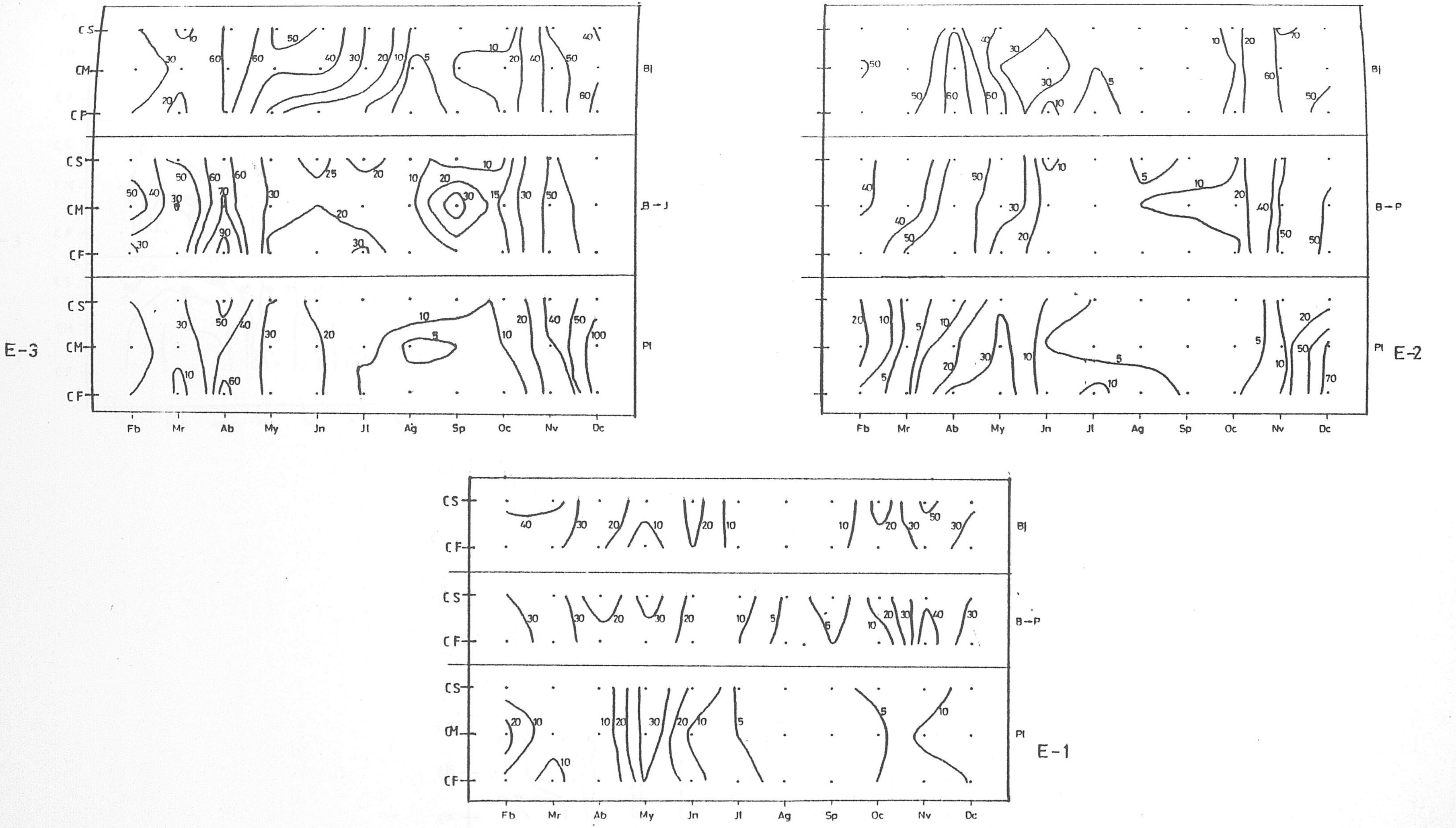
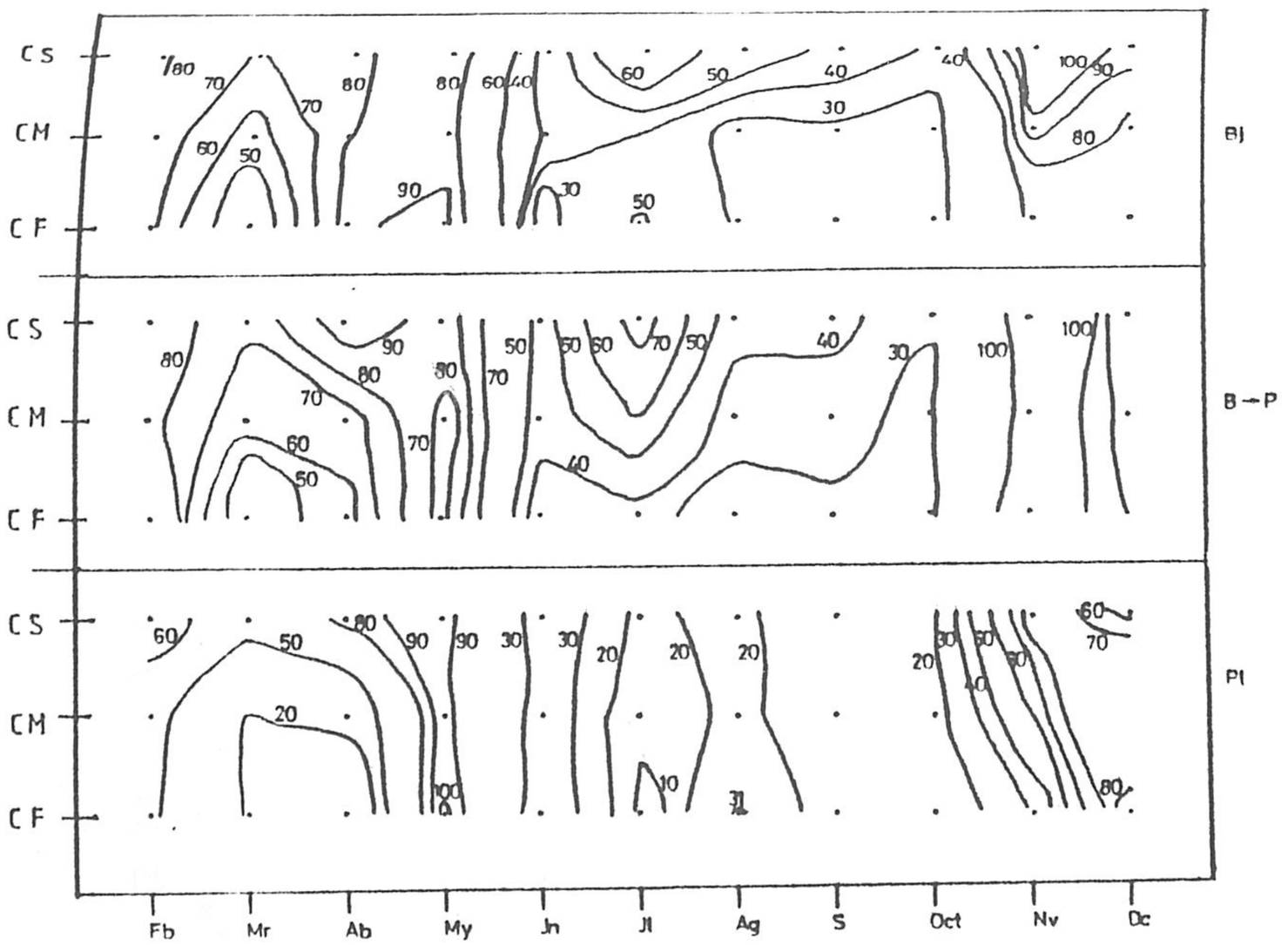


Figura 4.24.- Distribución temporal de la relación N:P en el punto central de las tres estaciones de muestreo y en los tres momentos de marea (Bj.=Bajamar; B-P=Media; Pl.= Pleamar).



E-3

E-2

E-1

Figura 4.25.- Distribución temporal de los Silicatos (µgrat Si/l) en el punto central de las tres estaciones de muestreo y en los tres momentos de marea (Bj.=Bajamar; B-P= Media; Pl.=Pleamar).

a pleamar y desde la estación más interior a la más cercana a la desembocadura. Así, por ejemplo, en julio en la estación 3 se midieron concentraciones en superficie de 80 μ grat Si/l; en el punto medio 40 μ grat Si/l y en el fondo 39 μ grat Si/l, en bajamar. En pleamar en superficie 18.9 μ grat Si/l, en el punto medio 11.5 y en el fondo 9.8 μ grat Si/l. Para este mismo mes, la media que se obtuvo en la estación 3 fue de 48.47 μ grat Si/l (D = 26.6); en la estación 2, 42.21 μ grat Si/l (D = 24.8) y en la estación 1 36.65 μ grat Si/l.

Las medias y coeficientes de dispersión para los silicatos figuran en la Tabla 4.18 en donde se puede observar que las mayores concentraciones de este elemento se dieron en noviembre (98.13 μ grat Si/l, D = 30.4 en la estación 3) y las mínimas en octubre (M = 15.07 μ grat Si/l, D = 8.18 en la estación 1).

4.8.7.- **Análisis de la varianza de los nutrientes**

Como hemos ido viendo, prácticamente todos los nutrientes siguen el mismo esquema de distribución a lo largo del año:

-Variación longitudinal más o menos pronunciada.
-Estratificación vertical.
-Menores concentraciones en Pleamar que en Bajamar.
-Máximos en invierno y épocas de lluvia y mínimos a principios de primavera y verano.

Para cada uno de los nutrientes (nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, silicatos y N:P), realizamos el análisis de la varianza jerarquizado con dos fuentes de variación, una de ellas anillada.

Los resultados obtenidos del análisis para cada parámetro se muestran en las tablas 4.19 a 4.24 y las matrices de significación para una probabilidad del 95% en las figuras: 4.26 a 4.31.

Para la fuente de variación del ciclo mareal, en todos los nutrientes aparece el mismo grado de significación, no presentando diferencias entre la Bajamar y media subiendo y sí ambos con la Pleamar.

Como ya hemos repetido varias veces, esto nos corrobora el hecho de que el aporte de nutrientes al estuario es debido, en la mayor parte de ellos, al río.

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	1.244	0.31	11.09 *
Meses de muestreo	10	31.64	3.163	112.88 *
Error masas de agua	40	1.121	$2.803.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	1.74	0.867	37.19 *
Masas de agua por ciclo	8	0.1545	1.932	
Error mto. del ciclo	100	2.33	0.233	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$6.8115.10^{-2}$	$1.703.10^{-2}$	0.86
Meses de muestreo	10	39.41	3.94	199.59 *
Error masas de agua	40	0.789	$1.974.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	7.992	3.995	65.12 *
Masas de agua por ciclo	8	0.189	$2.371.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	6.136	$6.136.10^{-2}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.206	$5.153.10^{-2}$	4.39 *
Meses de muestreo	10	35.269	3.527	300.6 *
Error masas de agua	40	0.469	$1.173.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	10.193	5.096	61.49 *
Masas de agua por ciclo	8	$2.307.10^{-2}$	$2.884.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	100	8.287	0.0828	

Tabla 4.19. Análisis de la varianza. Nitratos.

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$7.45.10^{-2}$	$1.86.10^{-2}$	3.70 *
Meses de muestreo	10	1.84	0.18	36.61 *
Error masas de agua	40	0.20	$5.03.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.23	0.12	15.63 *
Masas de agua por ciclo	8	$3.12.10^{-2}$	$3.90.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	100	0.75	$7.49.10^{-3}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$3.84.10^{-3}$	$9.60.10^{-4}$	0.16
Meses de muestreo	10	1.98	0.19	33.17 *
Error masas de agua	40	0.24	$5.96.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.97	0.49	53.26 *
Masas de agua por ciclo	8	0.03	$3.86.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	100	0.91	9.09	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$1.34.10^{-2}$	$3.35.10^{-3}$	1.51
Meses de muestreo	10	1.79	0.18	80.97 *
Error masas de agua	40	$8.88.10^{-2}$	$2.22.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.46	0.23	27.92 *
Masas de agua por ciclo	8	$2.34.10^{-2}$	$2.92.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	100	0.82	$8.19.10^{-3}$	

G.L. : Grados de libertad
S.C. : Suma de cuadrados
C.M. : Cuadrados medios
* : Significativo

Tabla 4.20. Análisis de la varianza. Nitritos

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.29	$7.35.10^{-2}$	2.25
Meses de muestreo	10	13.77	1.38	42.19 *
Error masas de agua	40	1.31	$3.27.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.36	0.18	4.03 *
Masas de agua por ciclo	8	0.20	$2.52.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	4.46	$4.46.10^{-2}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.18	$4.63.10^{-3}$	0.92
Meses de muestreo	10	6.86	0.69	13.65 *
Error masas de agua	40	2.01	$5.02.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	2.53	1.27	23.78 *
Masas de agua por ciclo	8	0.41	$5.08.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	5.32	$5.32.10^{-2}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.07	$1.67.10^{-2}$	1.01
Meses de muestreo	10	3.55	0.35	21.29 *
Error masas de agua	40	0.67	$1.66.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	1.59	0.79	30.28 *
Masas de agua por ciclo	8	0.13	$1.59.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	2.63	$2.63.10^{-2}$	

Tabla 4.21. Análisis de la varianza. Amonio.

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$9.27.10^{-2}$	$2.32.10^{-2}$	4.24 *
Meses de muestreo	10	1.45	0.15	26.48 *
Error masas de agua	40	0.22	$5.46.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.51	0.25	19.56 *
Masas de agua por ciclo	8	$5.38.10^{-2}$	$6.72.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	100	1.29	$1.29.10^{-2}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$7.68.10^{-2}$	$1.92.10^{-2}$	1.29
Meses de muestreo	10	1.52	0.15	10.27 *
Error masas de agua	40	0.59	$1.48.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.21	0.11	4.62 *
Masas de agua por ciclo	8	0.16	$1.99.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	2.31	$2.31.10^{-2}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$1.65.10^{-2}$	$4.12.10^{-3}$	0.69
Meses de muestreo	10	1.89	0.19	31.48 *
Error masas de agua	40	0.24	$5.99.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	0.36	0.18	23.48 *
Masas de agua por ciclo	8	$2.85.10^{-2}$	$3.56.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	100	0.76	$7.58.10^{-3}$	

G.L. : Grados de libertad
S.C. : Suma de cuadrados
C.M. : Cuadrados medios
* : Significativo

Tabla 4.22. Análisis de la varianza. Fosfatos.

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.65	0.16	4.14 *
Meses de muestreo	10	15.74	1.57	39.87 *
Error masas de agua	40	1.57	$3.95.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	1.19	0.59	5.72 *
Masas de agua por ciclo	8	0.24	$3.03.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	10.48	0.11	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.13	$3.28.10^{-2}$	0.77
Meses de muestreo	10	17.74	1.77	41.39 *
Error masas de agua	40	1.71	$4.28.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	4.20	2.10	29.89 *
Masas de agua por ciclo	8	0.49	$6.10.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	7.03	$7.03.10^{-2}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.14	$3.45.10^{-2}$	1.66
Meses de muestreo	10	10.27	1.03	49.48 *
Error masas de agua	40	0.83	$2.08.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	3.71	1.85	30.66 *
Masas de agua por ciclo	8	0.12	$1.45.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	6.04	$6.04.10^{-2}$	

Tabla 4.23. Análisis de la varianza. N : P

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.71	0.18	20.02 *
Meses de muestreo	10	5.98	0.59	67.46 *
Error masas de agua	40	0.35	$8.86.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	2.34	1.17	72.26 *
Masas de agua por ciclo	8	$4.81.10^{-2}$	$6.01.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	100	1.62	$1.62.10^{-2}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.18	$4.58.10^{-2}$	4.8 *
Meses de muestreo	10	10.23	1.02	107.19 *
Error masas de agua	40	0.38	$9.55.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	9.96	4.98	153.61 *
Masas de agua por ciclo	8	0.36	$4.52.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	3.24	$3.24.10^{-2}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$9.77.10^{-3}$	$2.44.10^{-3}$	0.31
Meses de muestreo	10	9.27	0.93	119.07 *
Error masas de agua	40	0.31	$7.78.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	15.04	7.52	196.65 *
Masas de agua por ciclo	8	$2.19.10^{-2}$	$2.75.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	100	3.82	$3.82.10^{-2}$	

G.L. : Grados de libertad
S.C. : Suma de cuadrados
C.M. : Cuadrados medios
* : Significativo

Tabla 4.24. Análisis de la varianza. Silicatos.

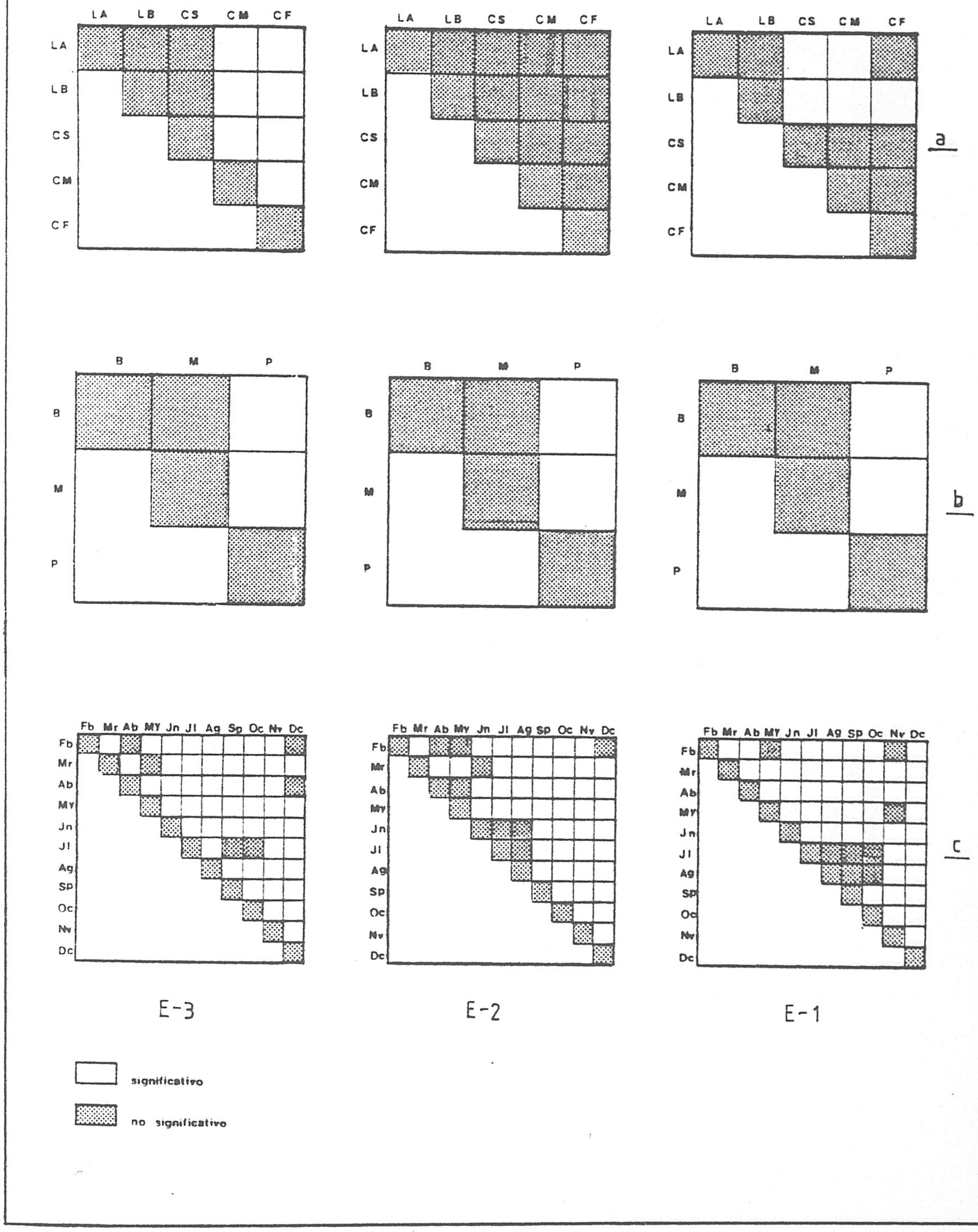


Figura 4.26.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de Nitratos.

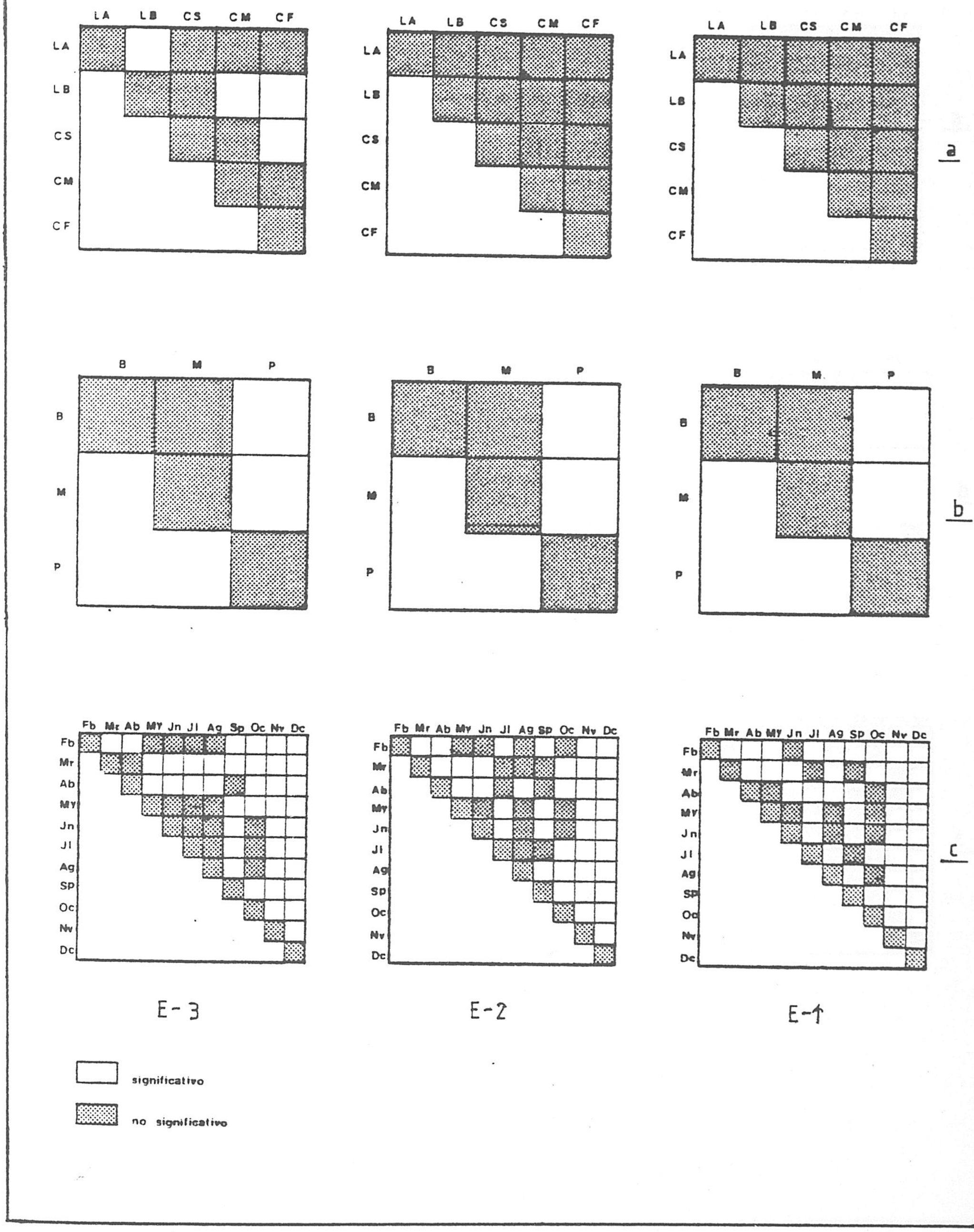


Figura 4.27.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de Nitritos.

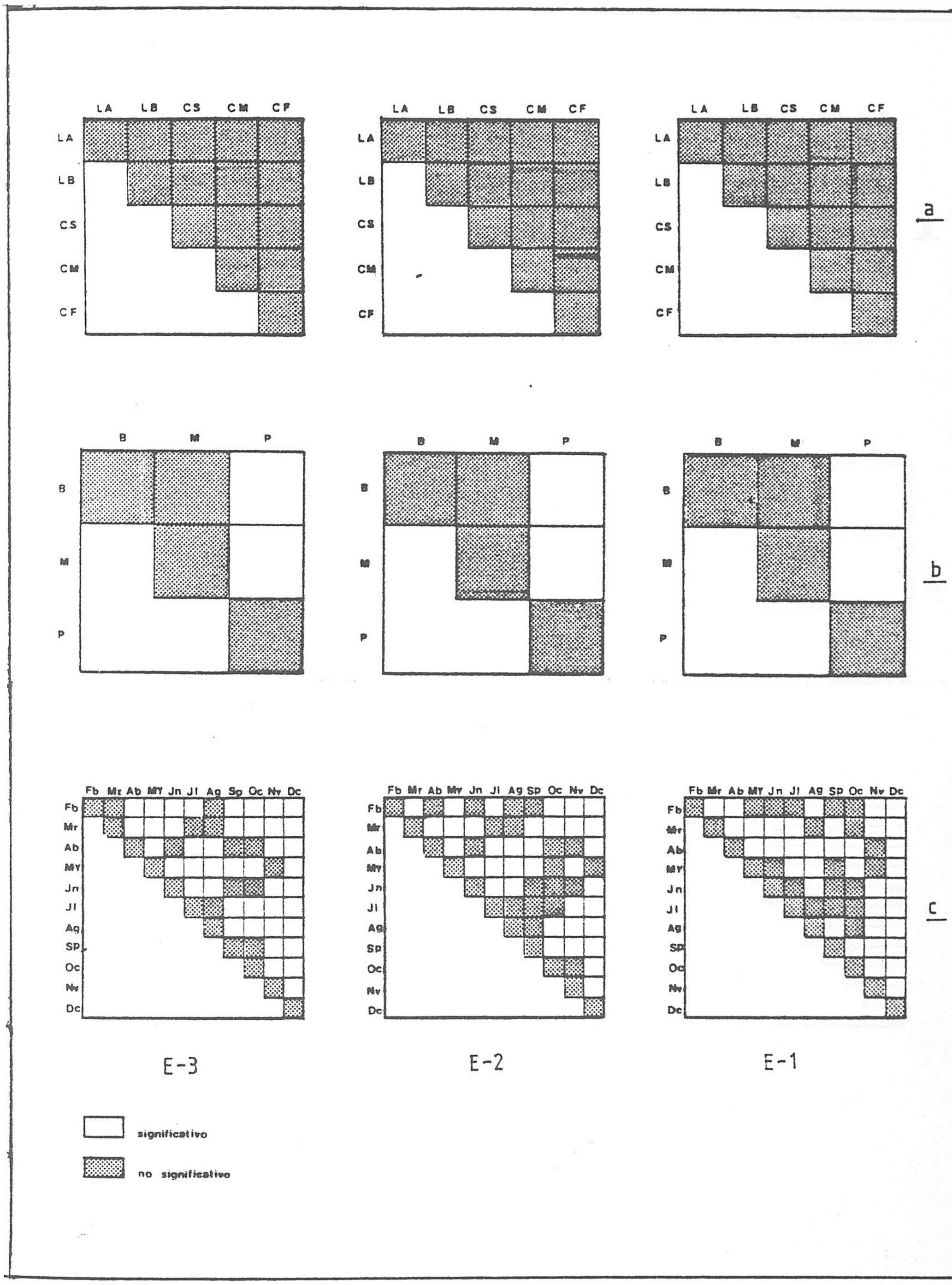


Figura 4.28.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de Amonio.

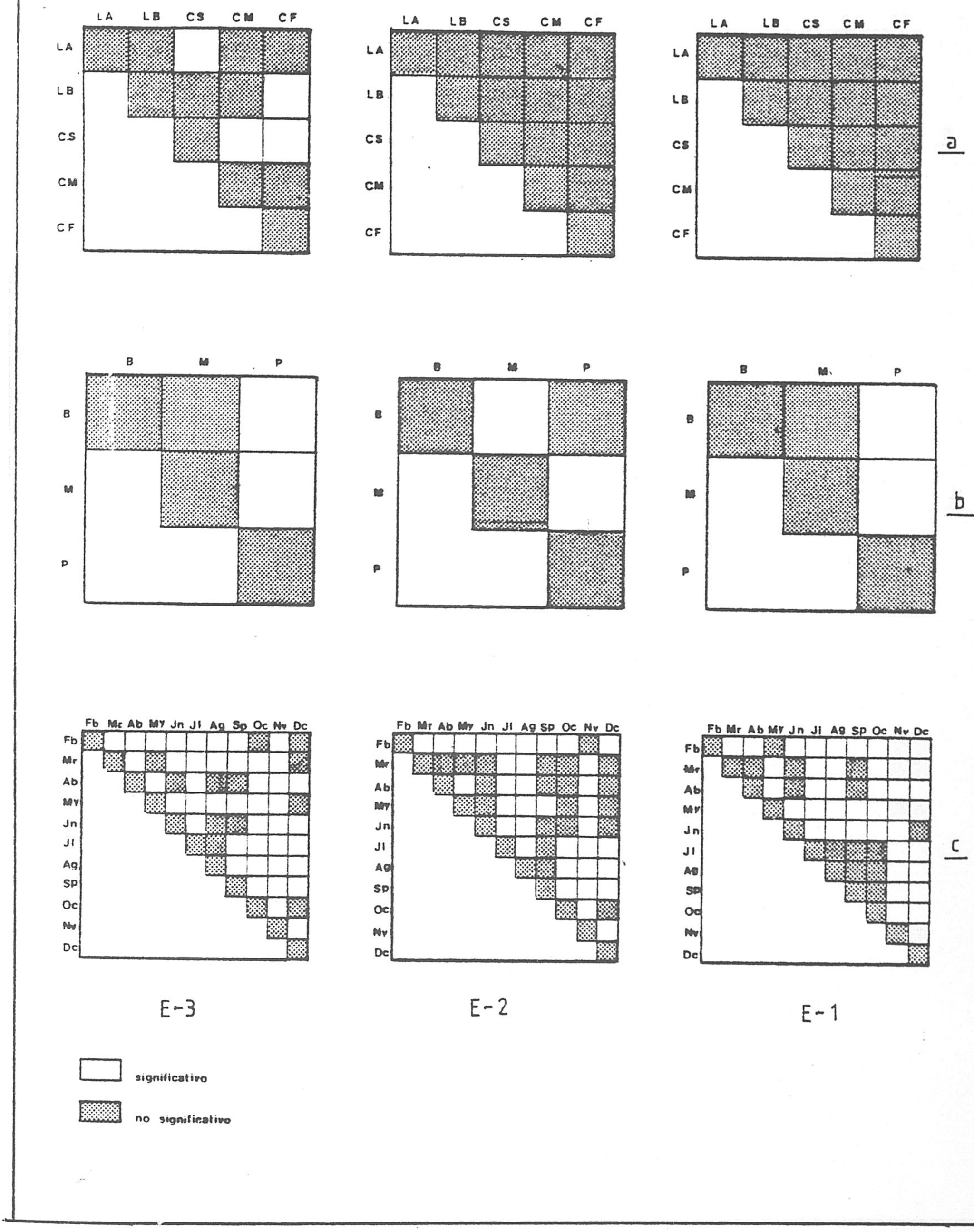


Figura 4.29.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de Fosfatos.

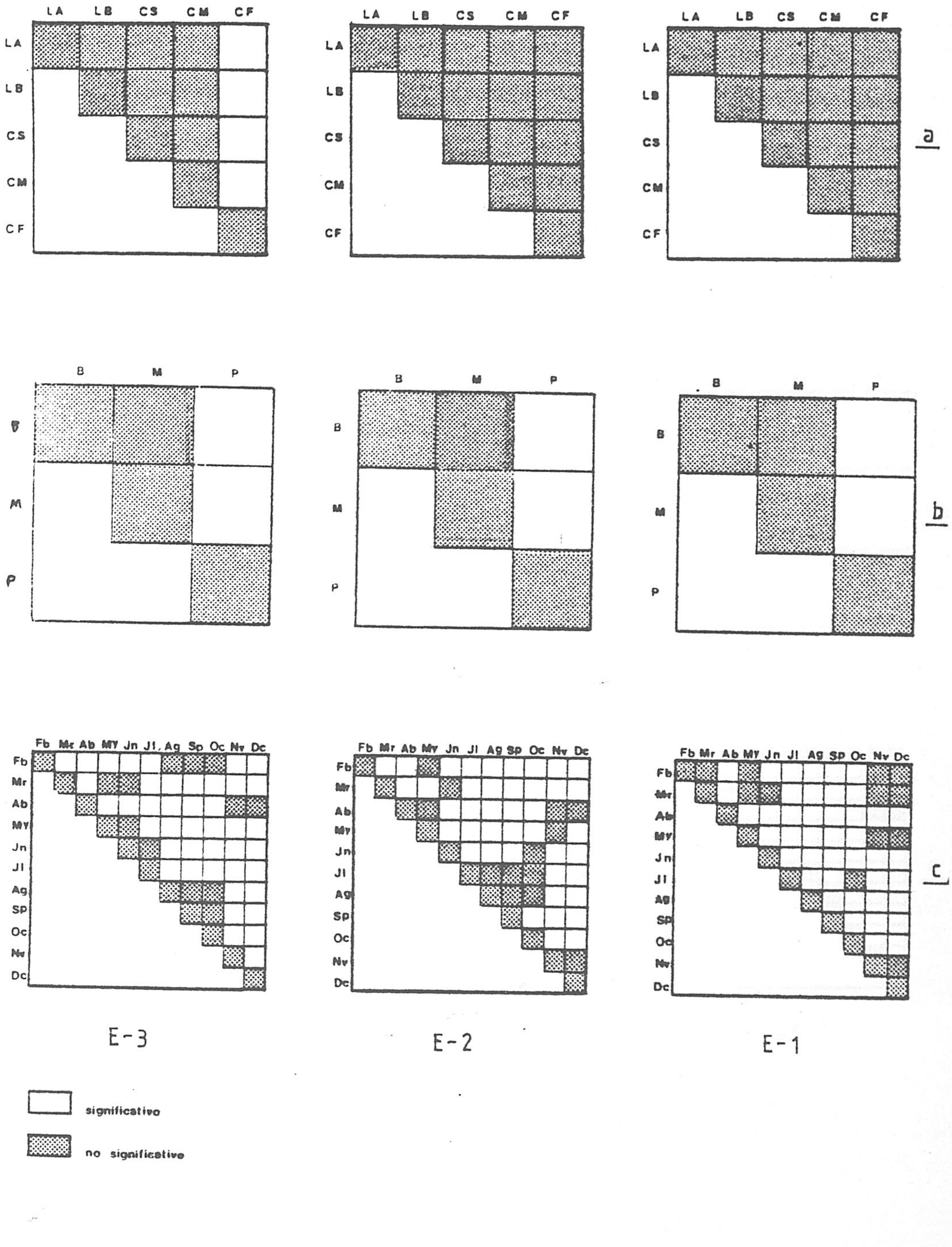


Figura 4.30.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de la relación N:P.

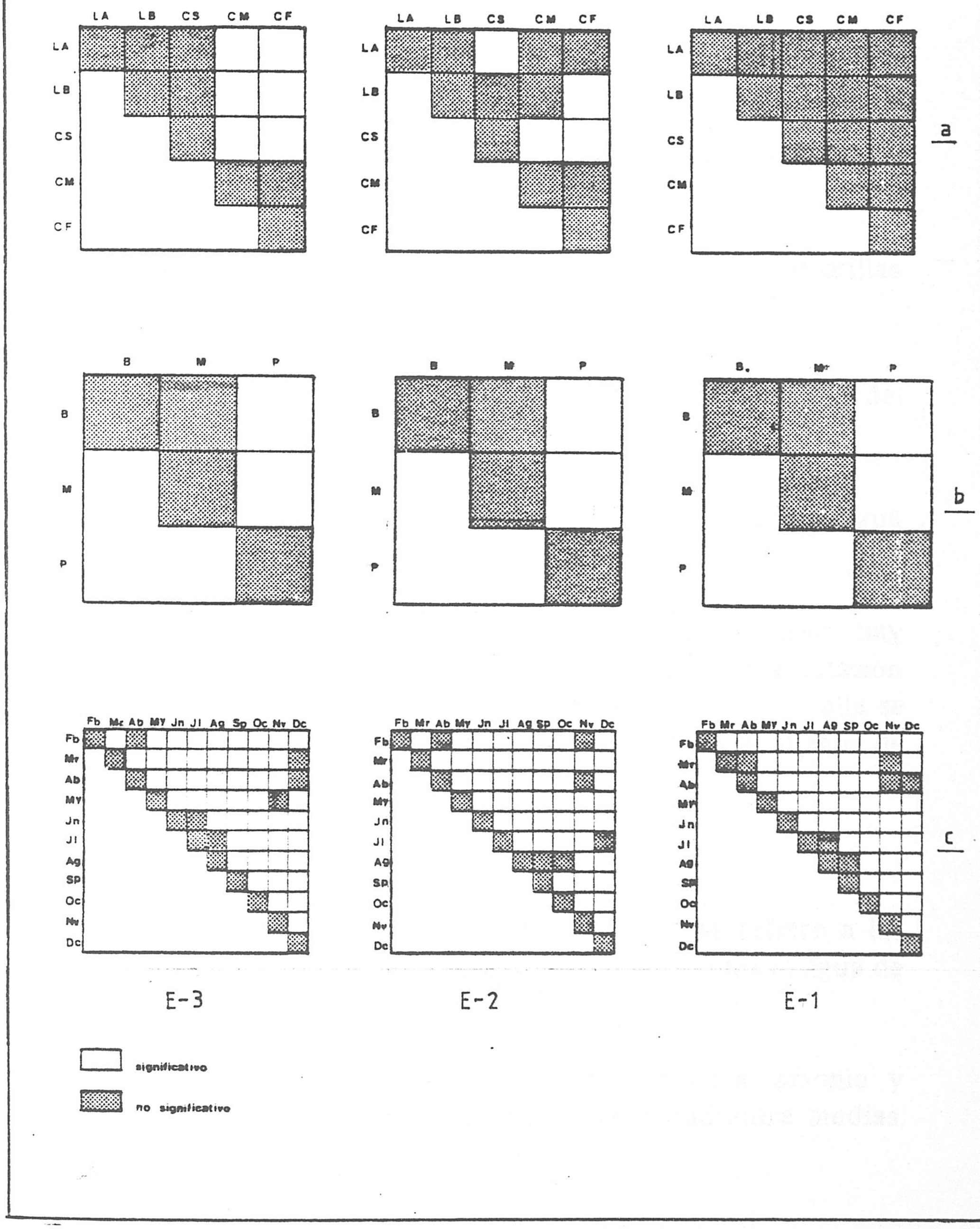


Figura 4.31.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de Silicatos.

En cada estación de muestreo se eligieron 5 puntos: las orillas (LA y LB) y el punto central con tres profundidades (superficie, punto medio y fondo); a cada punto le llamamos masa de agua.

Los resultados de los análisis en cada estación han sido los siguientes:

Estación 3

Para los nitratos hay diferencia significativa entre el agua de superficie (LA, LB y CS) con el agua del punto medio y de fondo.

Para los nitritos (NO^-_2) la diferencia se establece entre las orillas (LA, LB) y el agua de fondo.

Para los fosfatos ($PO^=_4$) el agua de superficie central y la del litoral B con todas las demás masas de agua.

Para los silicatos el agua de superficie (LA, LB y CS) con el agua del fondo (figuras 4.26.a - 4.31.a).

Prácticamente para todos los nutrientes en esta estación hay diferencias entre el agua superficial y el agua profunda. Esta estación está fuertemente influenciada por el río (es la más interior) y en ella se establece una gran estratificación vertical de salinidad, siendo el agua de superficie prácticamente dulce.

Estación 2

Sólo presenta diferencia significativa en lo que se refiere a las masas de agua para los silicatos, estableciéndose aquélla entre el agua de superficie y la del punto medio y fondo.

Para el resto de los nutrientes (nitratos, nitritos, amonio y fosfato) se pueden aceptar las hipótesis de homogeneidad entre medias, es decir, $M_{LB} = M_{LA} = M_{CS} = M_{CM} = M_{CF}$.

Estación 1

Es homogénea para los nitritos, amonio, fosfato y silicato y sólo se presentan diferencias para los nitratos entre los litorales y el agua central.

La significación de la variación de los nutrientes a lo largo del ciclo anual se muestra en las figuras 4.25 a 4.31. Si bien aparece un período de bajas concentraciones en los meses de verano y un período de altas concentraciones en el período de finales de otoño e invierno, la homogeneidad no fue siempre la misma entre los meses, por lo que resultaría cansado y nada efectivo la enumeración de los mismos.

En las figuras 4.26 a 4.31 se expresa la significación y la homogeneidad o heterogeneidad entre los mismos.

4.9.- ESTUDIO DE LAS RELACIONES ENTRE LOS DIVERSOS PARAMETROS

Cuando se discute el medio donde se desarrolla un organismo o una comunidad se deben considerar todos los factores físicos y químicos, o la gran mayoría de ellos. Para simplificar, se suele discutir cada factor por separado, pero debe insistirse (BROCK, 1973) en que ningún factor actúa independientemente de los otros y puede afectar en gran manera la acción de otro u otros.

4.9.1.-Correlación entre variables físicas y químicas

Las variables físicas y químicas que intervinieron en el análisis fueron: pH, temperatura, oxígeno disuelto, alcalinidad, salinidad, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, silicatos y la relación N:P. En la Tabla 4.25 se muestra la matriz de correlación entre las variables, empleando el total de datos obtenidos en el período de muestreo, en las tres estaciones.

Los nutrientes (nitratos, nitritos, amonio, fosfato, silicato y la relación N:P) mantuvieron entre sí correlaciones positivas y siempre con coeficientes superiores a 0.3; sólo la relación entre los fosfatos y el cociente N:P disminuyó.

La mayor correlación se obtuvo entre el silicato y la relación N:P, con $r = 0.64$.

	pH	Tem.	OD	AT	Sal.	$NO_3^=$	NO_2^-	NH_4^+	$PO_2^=$	$SiO_2^=$	N:P
pH	1.00										
Tem.	-.03	1.00									
OD	.14	-.25	1.00								
AT	-.31	.66	-.28	1.00							
Sal.	-.35	.51	-.42	.73	1.00						
$NO_3^=$	-.04	-.71	.39	-.53	-.64	1.00					
NO_2^-	-.22	-.19	.38	-.03	-.19	.52	1.00				
NH_4^+	-.24	-.22	.31	-.17	-.31	.43	.51	1.00			
$PO_4^=$	-.10	-.52	.22	-.34	-.35	.62	.41	.32	1.00		
$SiO_2^=$	.05	-.48	.39	-.52	-.71	.77	.49	.38	.54	1.00	
N:P	-.02	-.58	.38	-.46	-.59	.87	.45	.47	.21	.64	1.00

Tabla 4.25.- Matriz de correlación entre los parámetros físicos y químicos (todas las estaciones).

La salinidad presentó correlación negativa con todos los nutrientes, de manera que las aguas más saladas fueron las que menor concentración de nutrientes llevaron consigo. Además, la salinidad se relacionó positivamente con la alcalinidad y con la temperatura. Estas interacciones han sido observadas por otros autores (MUKAI et al., 1981; 1985).

El oxígeno disuelto se correlacionó negativamente con la salinidad, temperatura y alcalinidad, y positivamente con los nutrientes.

El pH mantuvo correlaciones bajas, generalmente negativas, con los demás parámetros.

Por otra parte, para cada estación de muestreo se calculó la correspondiente matriz de correlaciones (Tabla 4.26). La pauta general descrita se repitió en cada caso, con similares coeficientes de correlación. Es decir, el componente espacial no introdujo variación alguna en el esquema de interacciones entre las variables consideradas.

Correlaciones semejantes encontraron RIAUX y GRALL (1982) para el estuario de la Penzé en el Norte de Bretaña, Francia y URRUTIA (1986) en la ría del Nervión.

Del conjunto de interacciones obtenidas se puede diferenciar en la ría dos situaciones ambientales diferentes y contrapuestas: las masas de agua más frías, menos salinas, más oxigenadas y con mayor concentración de nutrientes se oponen a las masas de agua más cálidas, más salinas, menos oxigenadas y con menos nutrientes. En la figura 4.32, se presenta un gráfico de estas correlaciones.

Uno de los parámetros que diferencia estas dos masas de agua es la salinidad y, como hemos visto, mantiene correlaciones altas con el resto de los parámetros. Calculamos las rectas de regresión entre la salinidad y el resto de las variables físicas y químicas medidas en las tres estaciones, diferenciando entre las medidas en bajamar y en pleamar. Las rectas de regresión así como el coeficiente de correlación obtenidos y su significación se muestran en la Tabla 4.27. Los nitritos no mostraron correlación significativa en ninguno de los estados de marea. El amonio se correlacionó negativamente en pleamar pero no en bajamar.

	pH	Tem.	OD	AT	Sal.	$NO_3^=$	NO_2^-	NH_4^+	$PO_4^=$	$SiO_2^=$	N:P
pH	1.00										
Tem.	-.05	1.00									
OD	.09	-.27	1.00								
AT	-.32	.59	-.21	1.00							
Sal.	-.39	.48	-.38	.68	1.00						
$NO_3^=$	.02	-.77	.36	-.46	-.57	1.00					
NO_2^-	-.21	-.11	.19	.07	-.06	.42	1.00				
NH_4^+	-.33	-.27	.21	-.11	-.23	.43	.50	1.00			
$PO_4^=$	-.18	-.57	.18	-.28	-.31	.65	.36	.31	1.00		
$SiO_2^=$	.05	-.56	.38	-.46	-.67	.78	.46	.37	.59	1.00	
N:P	.11	-.59	.34	-.37	-.51	.82	.32	.48	.17	.56	1.00

E - 3

	pH	Tem.	OD	AT	Sal.	$NO_3^=$	NO_2^-	NH_4^+	$PO_4^=$	$SiO_2^=$	N:P
pH	1.00										
Tem.	.03	1.00									
OD	.15	-.19	1.00								
AT	-.29	.73	-.36	1.00							
Sal.	-.39	.56	-.48	.82	1.00						
$NO_3^=$	-.11	-.75	.46	-.64	-.64	1.00					
NO_2^-	-.22	-.27	.44	-.15	-.25	.62	1.00				
NH_4^+	-.09	-.18	.39	-.22	-.31	.45	.58	1.00			
$PO_4^=$	-.04	-.45	.14	-.33	-.29	.57	.44	.34	1.00		
$SiO_2^=$	.09	-.54	.37	-.63	-.74	.73	.49	.34	.51	1.00	
N:P	-.13	-.63	.47	-.58	-.59	.87	.54	.46	.14	.58	1.00

E - 2

	pH	Tem.	OD	AT	Sal.	$NO_3^=$	NO_2^-	NH_4^+	$PO_4^=$	$SiO_2^=$	N:P
pH	1.00										
Tem.	-.08	1.00									
OD	.18	-.29	1.00								
AT	-.34	.69	-.28	1.00							
Sal.	-.31	.58	-.47	.77	1.00						
$NO_3^=$	.02	-.69	.41	-.52	-.74	1.00					
NO_2^-	-.23	-.19	.49	.01	-.28	.49	1.00				
NH_4^+	-.28	-.21	.37	-.21	-.45	.42	.42	1.00			
$PO^=$	-.09	-.56	.36	-.43	-.58	.75	.47	.34	1.00		
$SiO_2^=$	.08	-.47	.46	-.52	-.83	.78	.49	.46	.66	1.00	
N:P	.06	-.63	.38	-.47	-.69	.92	.42	.47	.45	.70	1.00

E - 1

Tabla 4.26.- Matrices de correlación entre variables físicas y químicas, en cada una de las estaciones de muestreo.

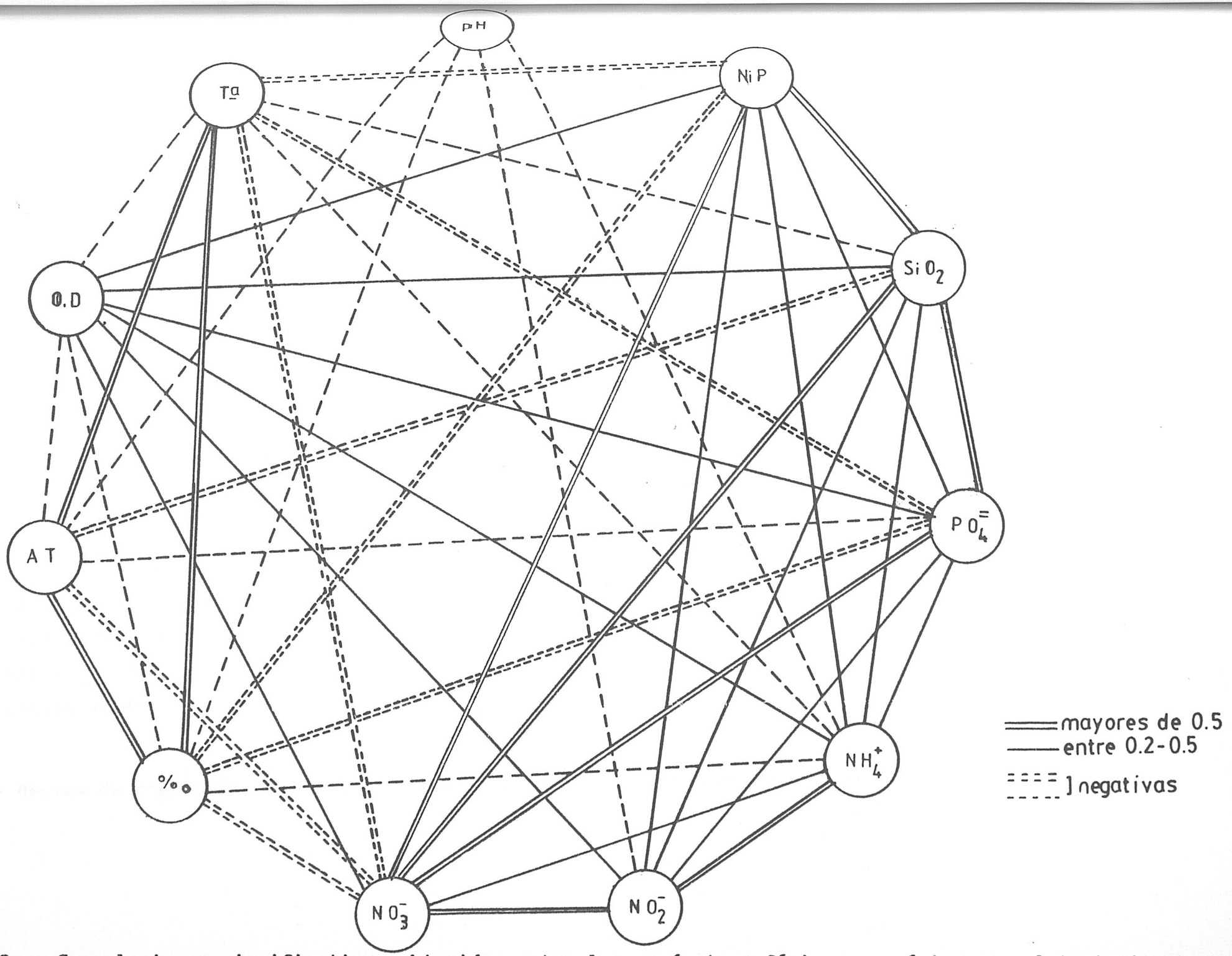


Figura 4.32.- Correlaciones significativas obtenidas entre los parámetros físicos y químicos en el tratamiento conjunto de los datos (E-3, E-2, E-1, en los tres estados de marea).

Parámetro	PLEAMAR		BAJAMAR	
pH	pH = -.435 + 8.4	**r = .45	pH = -.455 + 8.4	**r = .4
Tª	Tª = .14S + 1.06	**r = .5	Tª = .23S + .98	**r = .7
OD	OD = -.07S + .91	*r = .24	OD = -.19S + 1	**r = .5
AT	AT = .17S + .31	**r = .71	AT = .25S + .25	**r = .68
$NO_3^=$	$NO_3^=$ = -.75S + 2.24	**r = .5	$NO_3^=$ = -S + 2.5	**r = .64
NO_2^-	NO_2^- = .03S + .22	r = .08		
NH_4^+	NH_4^+ = -.19S + .81	*r = .23	NH_4^+ = -.08S + .69	r = .01
$PO_4^=$	$PO_4^=$ = -.06S + .42	r = .15	$PO_4^=$ = -.12S + .51	*r = .29
$SiO_2^=$	$SiO_2^=$ = -.34S + 2.15	**r = .6	$SiO_2^=$ = -.55S + 2.38	**r = .75
N:P	N:P = -.60S + 2.04	**r = .6	N:P = -.67S + 2.1	**r = .65

S = salinidad

r = coeficiente de correlación

* = significativo al 95%

** = significativo al 99%

Tabla 4.27.- Rectas de regresión, salinidad - parámetros físicos y químicos. En pleamar y bajamar.

Se hizo el análisis de las correlaciones entre los parámetros físicos y químicos por estaciones del año por cuanto es presumible suponer que con el tiempo, algunas relaciones se intensifiquen, o se desvanezcan, o bien aparezcan nuevas relaciones.

La información de partida la constituyeron los datos de las variables estudiadas agrupándolas por estaciones anuales:

-Invierno: se utilizaron las muestras de los meses de diciembre, febrero y marzo.
-Primavera: abril, mayo y junio.
-Verano: julio, agosto y septiembre.
-Otoño: octubre y noviembre.

Las correlaciones obtenidas (figura 4.33) variaron del siguiente modo:

OTOÑO

Siguieron el mismo patrón que hemos descrito.

INVIERNO

Los fosfatos presentaron correlación negativa con la relación N:P. Esta correlación negativa se produjo por el aumento de los fosfatos en esta época del año, de manera que, al incrementar éstos, el cociente N:P se hace menor.

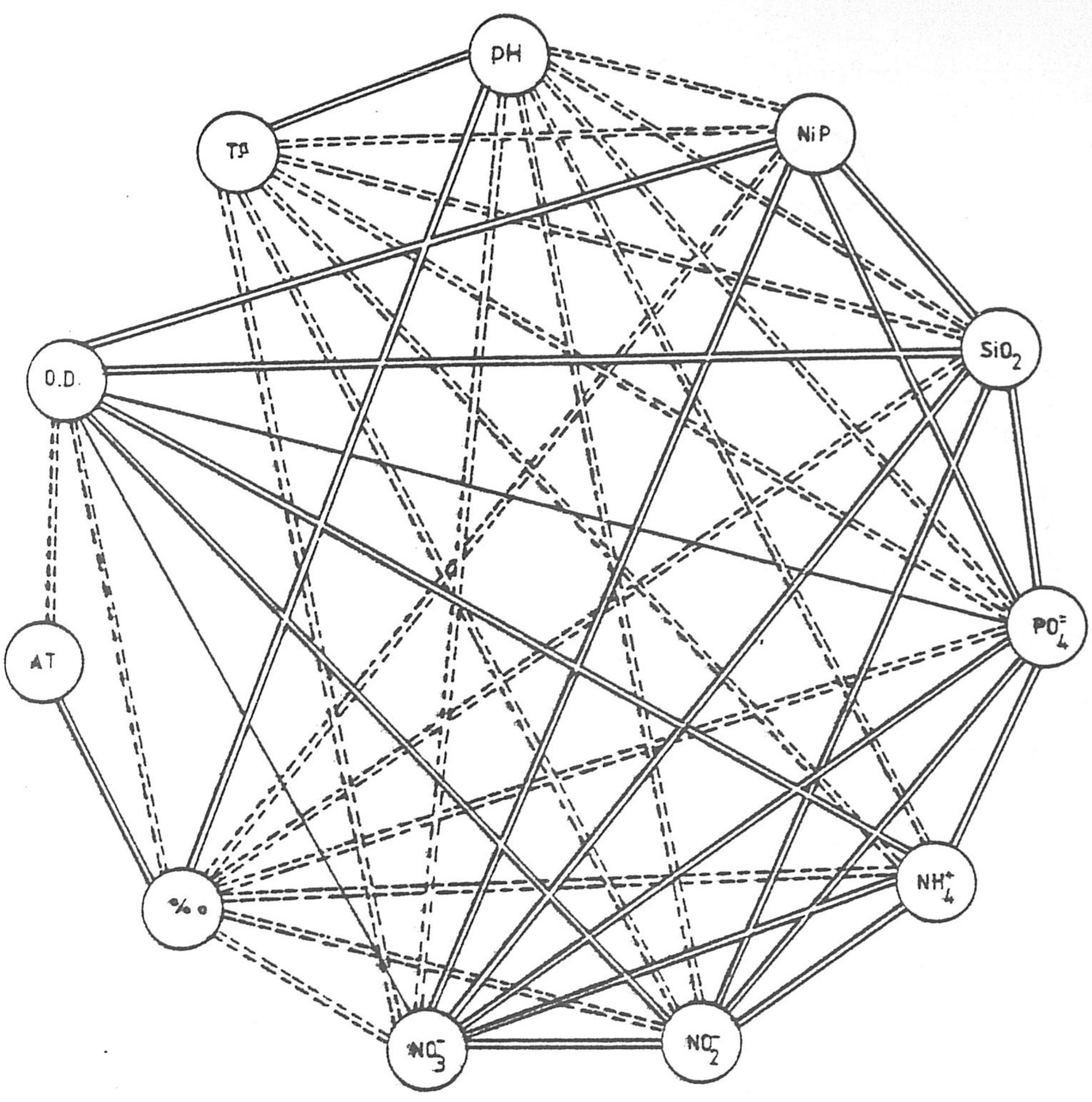
PRIMAVERA

En las estaciones 2 y 3 aparecieron correlaciones negativas entre los nutrientes:

-Nitratos con nitritos.
-Nitritos con amonio.
-Amonio con fosfatos.
-Oxígeno disuelto con nitritos.

mientras que el resto de las correlaciones siguió el patrón general. Las correlaciones negativas entre los nutrientes posiblemente sean debidas a la mayor actividad biológica en esta época del año fundamentalmente productiva.

OTOÑO



INVIERNO

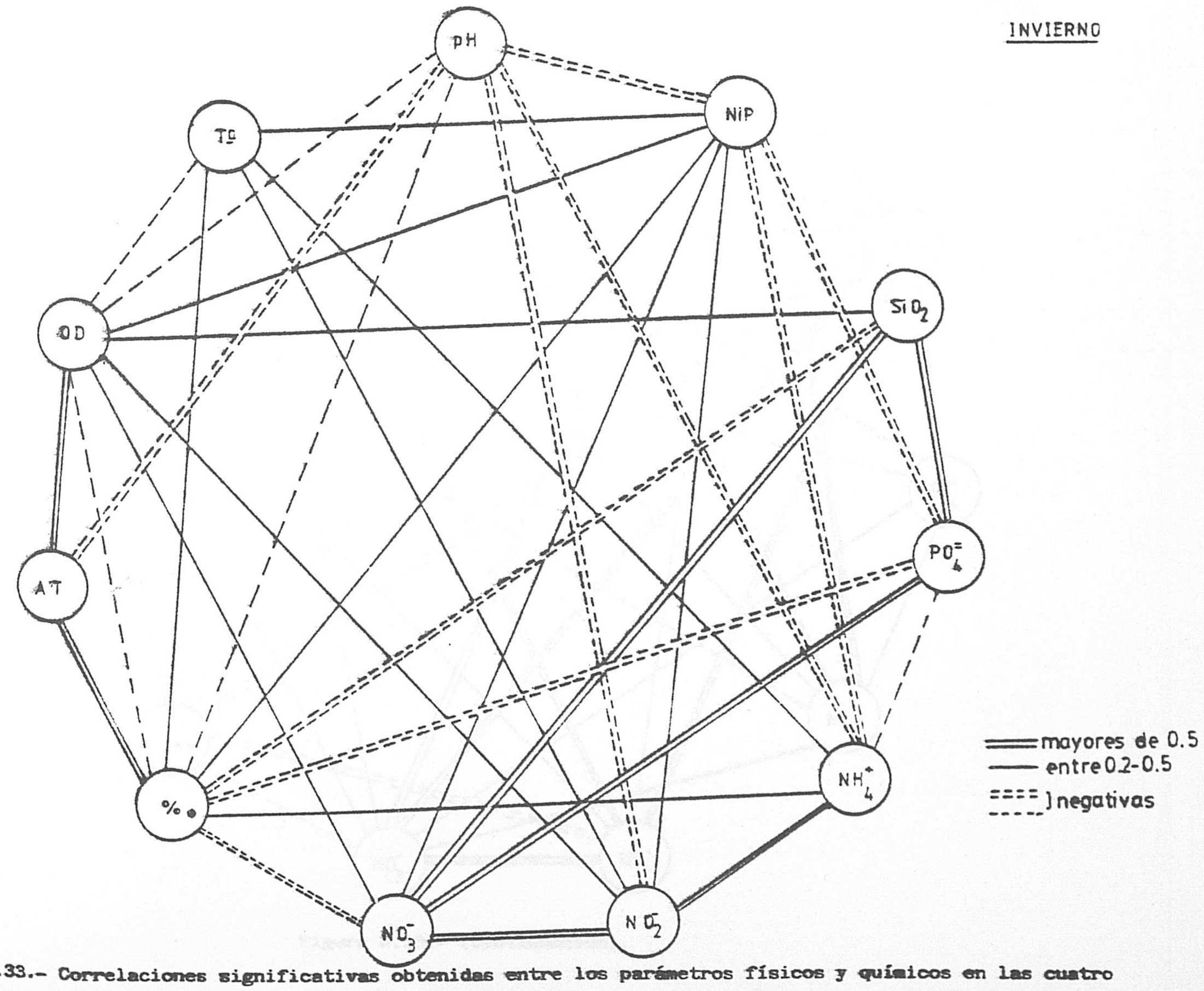
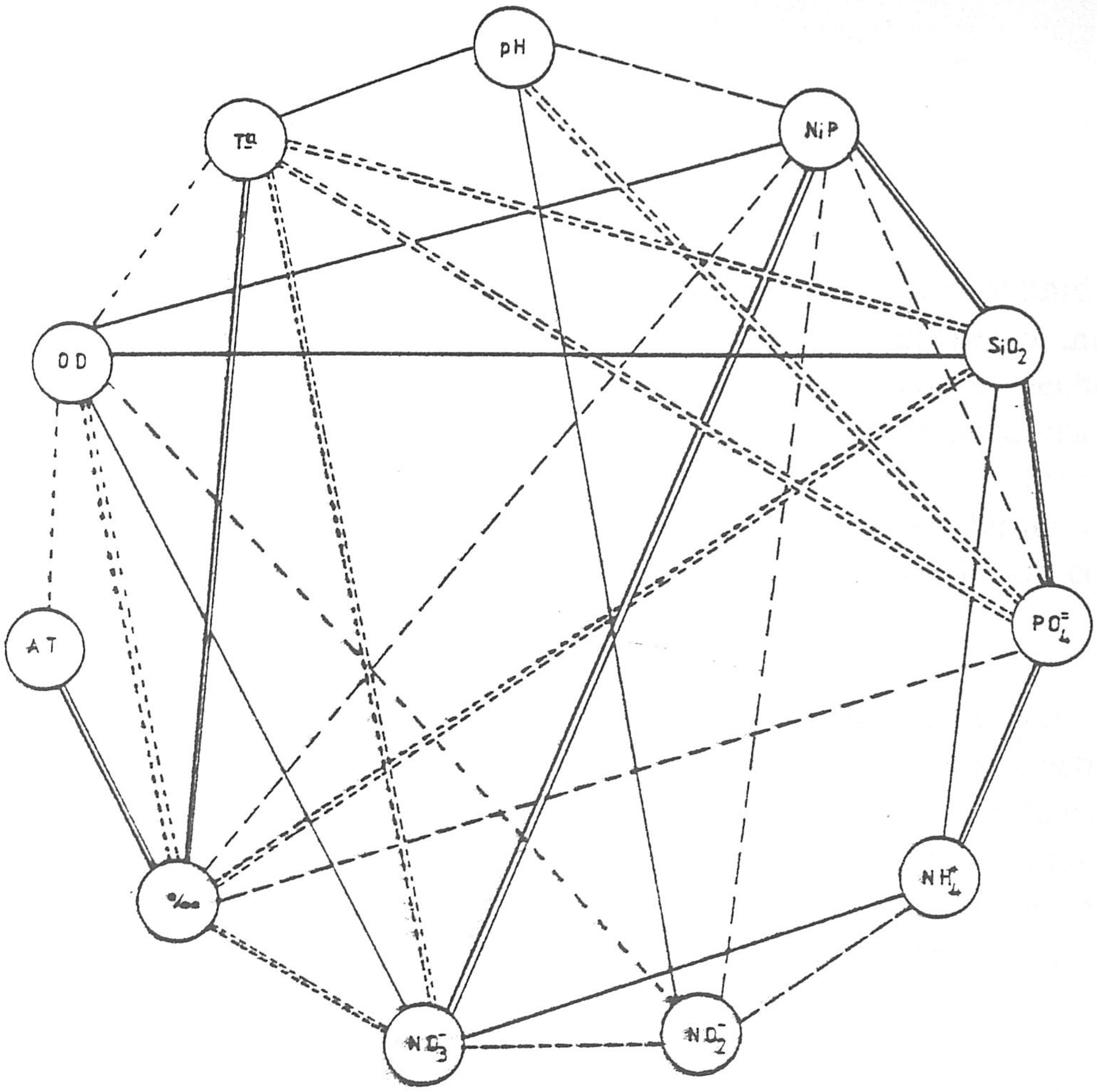


Figura 4.33.- Correlaciones significativas obtenidas entre los parámetros físicos y químicos en las cuatro estaciones del año.

PRIMAVERA



VERANO

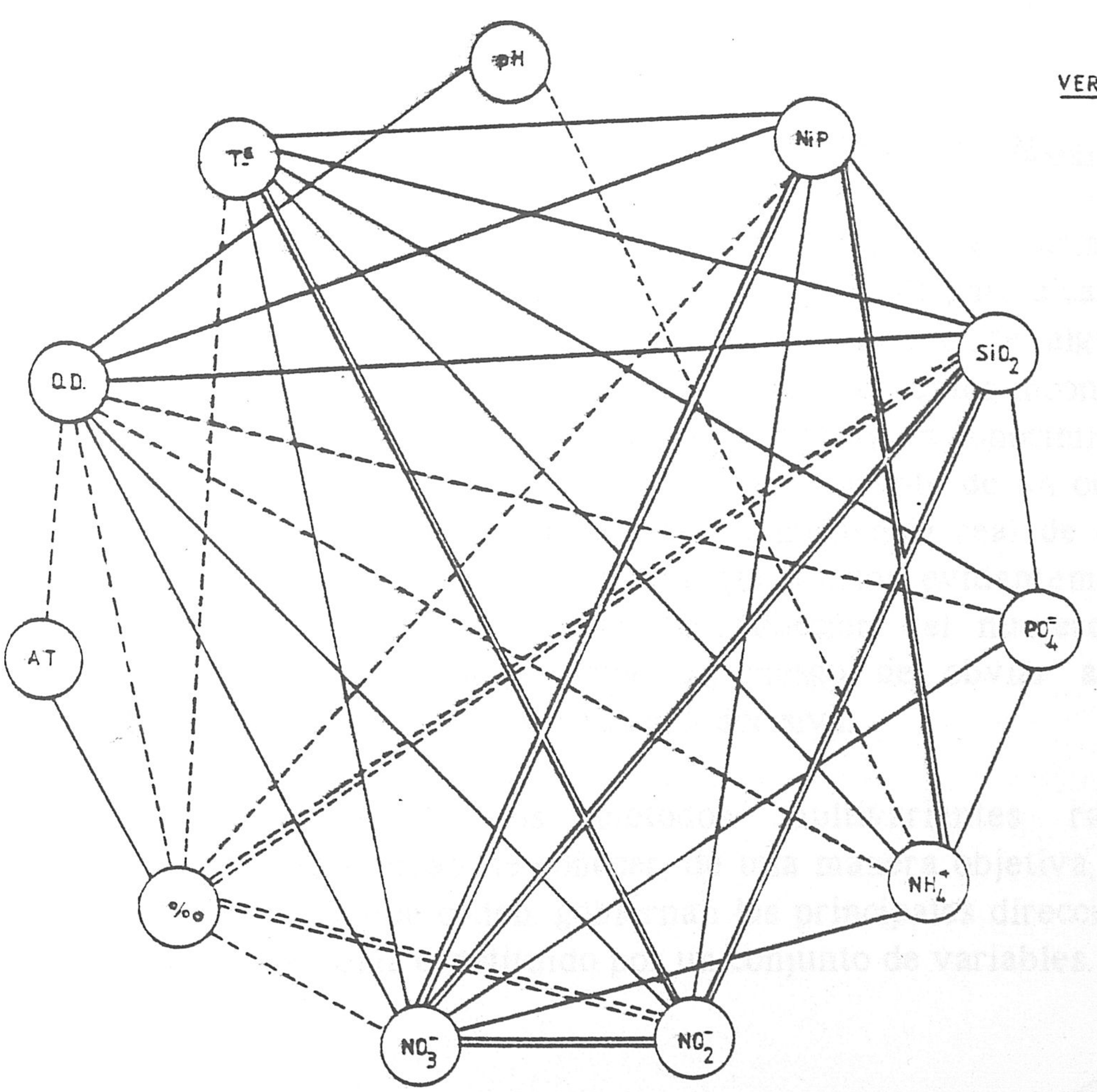


Figura 4.33.- (Continuación).

VERANO

La temperatura se correlacionó negativamente con la salinidad y positivamente con los nutrientes; el agua más salina presentó menos temperatura y menos nutrientes. Esto está de acuerdo con el hecho de que en verano las aguas continentales presentan más temperatura que las marinas, al contrario que durante el resto del año. Por otra parte, nos corrobora el hecho de que el aporte de nutrientes a la ría es debido al río ya que, en esta época del año, al variar el signo de la correlación con la salinidad, también lo varía respecto a los nutrientes.

El oxígeno disuelto presentó correlación negativa con el amonio y el fosfato. Al describir el ciclo de los nutrientes, apuntamos el hecho de que el restablecimiento de las concentraciones del amonio y el fosfato a los niveles de invierno, tuvo lugar un mes antes que el del resto de nutrientes. Esta correlación negativa del oxígeno con el amonio y los fosfatos indica la mineralización de la materia orgánica, con el consumo de oxígeno correspondiente.

Podríamos decir que en esta época hubo una gran actividad biológica, relacionada fundamentalmente con procesos de descomposición.

4.9.2.- <u>Principales tendencias de variación en la ría de Mogro</u>

La información proporcionada por el conjunto de variables medidas, en cada estación de muestreo, que se ha utilizado para alcanzar objetivos concretos que nos permitieran el conocimiento de algunos aspectos de la ría, constituye en realidad un mosaico de datos inconexos que, a pesar de las correlaciones efectuadas, nos brinda un conocimiento del ecosistema no ya parcializado sino, sobre todo, carente de un orden de importancia, donde no puede apreciarse la influencia real de cada variable o grupo de variables del ecosistema, que a priori evidentemente resulta difícil conocer. Por otra parte, la reducción del número de variables de partida supondría correr un riesgo de obviar algún parámetro que pudiera ejercer una actuación decisiva.

La importancia de los métodos multivariantes radica precisamente en la posibilidad de conocer, de una manera objetiva, qué tipos de variables, y en qué orden, gobiernan las principales direcciones de variación, en un sistema constituído por un conjunto de variables.

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

Los muestreos que se efectuaron en la ría de Mogro se extendieron tanto a lo largo del tiempo como a lo largo del espacio. Por ello se efectuaron dos grupos de análisis, uno encaminado a poner de manifiesto las principales direcciones de variación respecto del espacio, a lo largo de la ría, y el otro, a extraer las causas principales de variación respecto al tiempo.

4.9.2.1.- Análisis de componentes principales

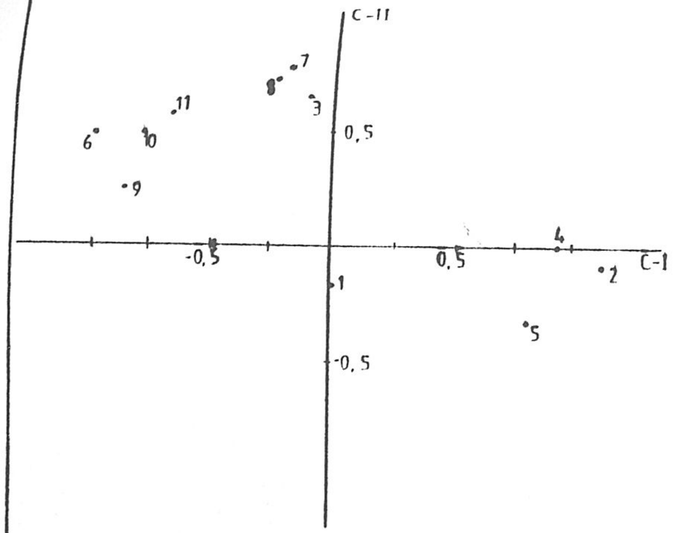
Se realizó un primer análisis de componentes principales con el fin de obtener una imagen global y lo más sencilla posible de las principales tendencias de variación. Se consideraron todos los parámetros físicos y químicos medidos en el total de las muestras obtenidas a lo largo del ciclo de muestreo.

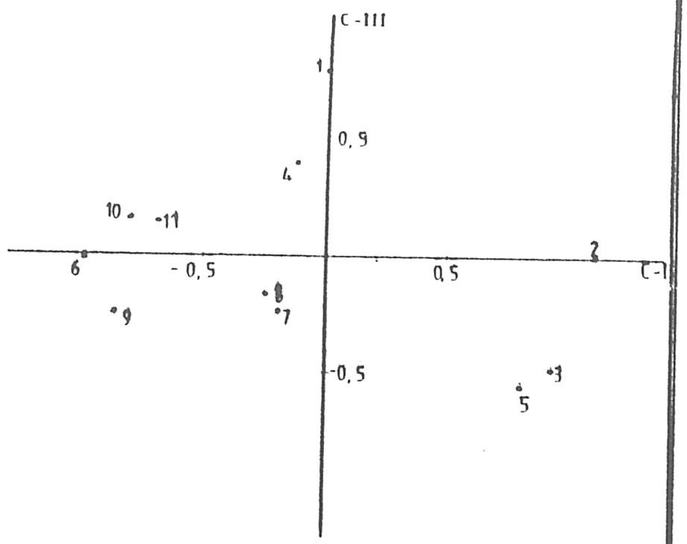
Los tres primeros componentes absorbieron el 72.5% de la varianza total, correspondiéndole 46.9% al primero, 16.1% al segundo y 9.5% al tercero.

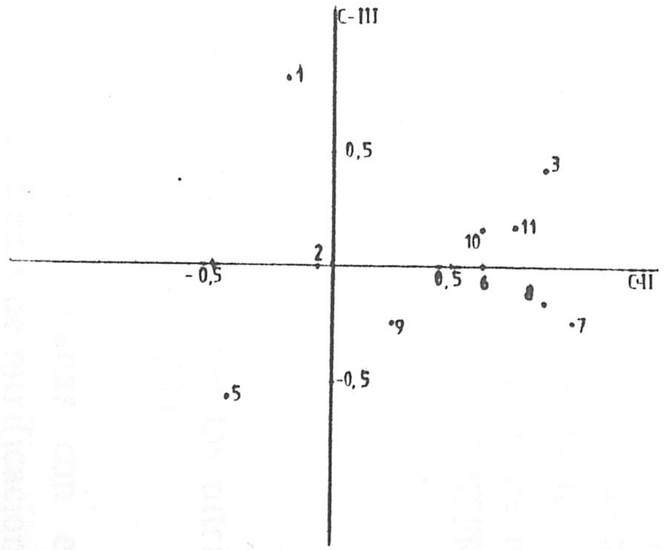
Componente I

El primer eje o componente presentó correlación positiva con las siguientes variables: temperatura (0.816), alcalinidad (0.755), salinidad (0.634) y negativa con nitratos (-0.79), fosfatos (-0.691) y silicatos (-0.655), (figura 4.34). Este primer eje, pues, está gobernado por las variables que mejor definen las características ambientales de las masas de agua: por una parte, factores relativos a la densidad del agua: temperatura y salinidad (ver los diagramas T-S); por otra, factores relativos a los nutrientes (los cuales están relacionados con la productividad).

Se calculó el valor medio de las saturaciones de los muestreos de cada mes, para conocer su evolución temporal (figura 4.35). En el período de febrero a mayo, el valor fue negativo por corresponder a una época de temperaturas bajas y concentración de nutrientes alta. La disminución de la salinidad del agua en el mes de mayo -consecuencia de las fuertes lluvias- ocasionó el elevado valor negativo sobre el eje, a pesar de que en dicho mes las temperaturas comenzaron a aumentar. En junio, los nutrientes descendieron y las temperaturas aumentaron, tomando el componente valores positivos. Estas condiciones de temperaturas altas y







1.- pH
2.- Temperatura
3.- OD
4.- Alcalinidad
5.- Salinidad
6.- Nitratos
7.- Nitritos
8.- Amonio
9.- Fosfatos
10.- N:P
11.- Silicatos

Figura 4.34.- Posición de las variables físicas y químicas según los planos definidos por CI y CII; CI y CIII; CII y CIII en el ACP realizado sobre el conjunto de datos.

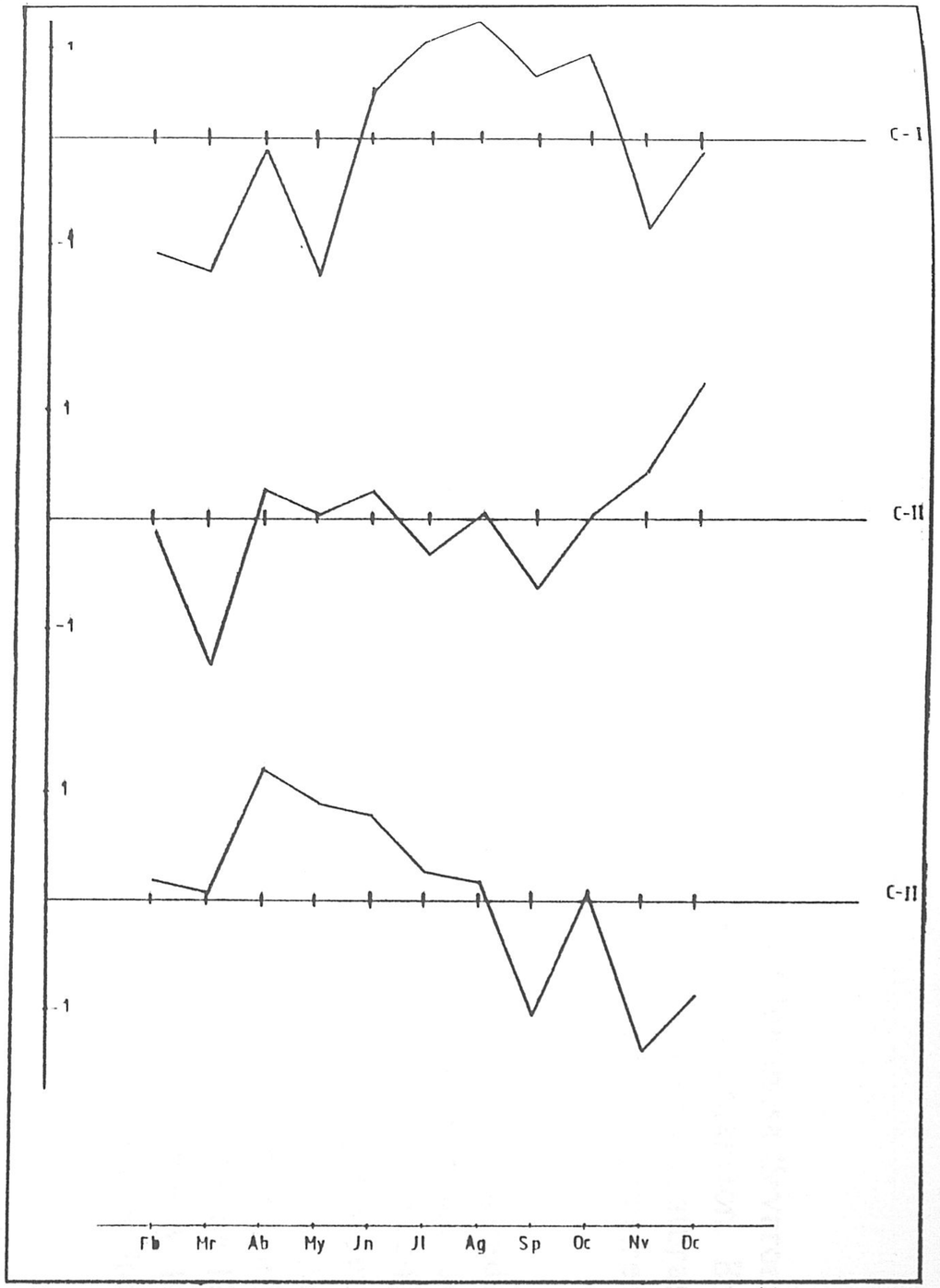


Figura 4.35.- Evolución temporal de los valores de saturación de los componentes Principales en los muestreos (valores medios).

nutrientes bajos junto con el aumento de intensidad luminosa llevaron, como luego veremos, al consiguiente desarrollo del fitoplancton. En noviembre, comenzaron a aumentar los nutrientes y las temperaturas descendieron, lo que llevó de nuevo a que el componente tomara valores negativos.

Puesto que la salinidad también está correlacionada positivamente con este componente, para destacar su importancia, se calculó el valor medio de las saturaciones para cada estación y para cada punto de muestreo con respecto al ciclo mareal, es decir, en bajamar, en media marea subiendo y en pleamar (figura 4.36). Este componente presentó valores negativos en la mayoría de los puntos en bajamar y en media marea subiendo y valores positivos (excepto en superficie de la estación 3) en pleamar. En bajamar los nutrientes fueron altos y la salinidad baja mientras que en pleamar aumentó la salinidad y los nutrientes descendieron.

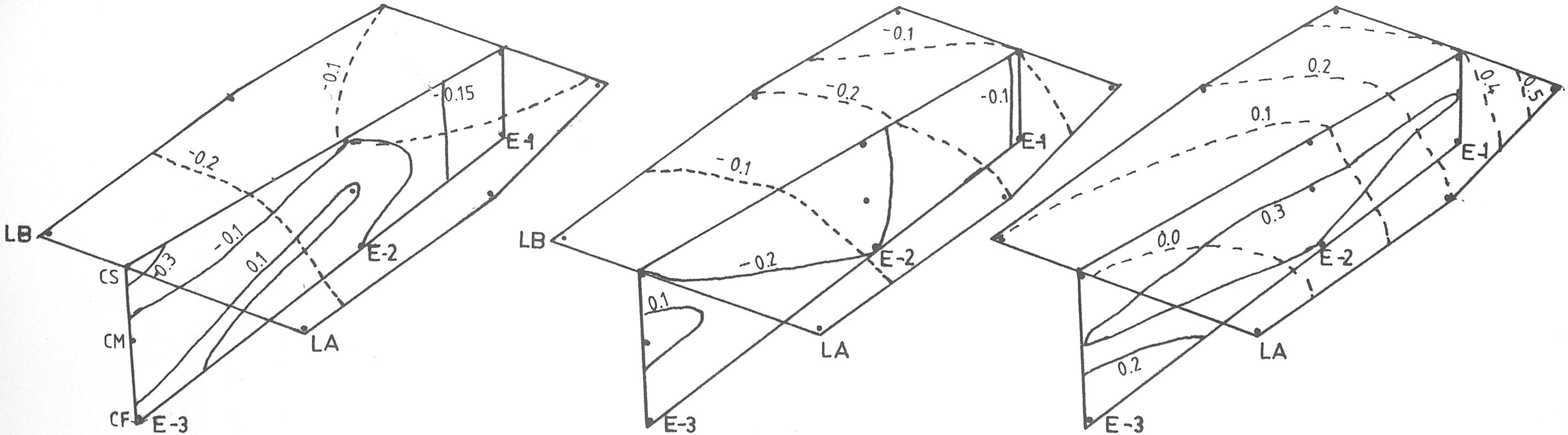
El valor medio de este componente en cada estación (figura 4.37) presentó valor negativo en las estaciones 2 y 3 y positivo en la estación 1. Se mantiene el orden secuencial de las estaciones de muestreo, del sistema marino al fluvial, con el consiguiente aumento de nutrientes, disminución de salinidad y de temperatura; según esta disposición el primer eje tiene un claro sentido espacial que recorre el estuario.

La presentación de las muestras sobre el primer componente proporciona una ordenación de las mismas, separando las masas de agua más cálidas, de mayor salinidad y con menos nutrientes, de aquéllas más dulces, frías y más ricas en nutrientes. Es decir, separa las aguas con carácter nerítico de las aguas más fluviales. Explicación similar de este eje la obtuvo FLOS (1979), en un estudio del Golfo de Vizcaya; FOSTER et al (1977) en la Bahía de Liverpool.

Componente II

El componente II se correlacionó positivamente con los nitritos (0.798); amonio (0.719); oxígeno disuelto (0.682) y N:P (0.578).

Las variables que se encuentran correlacionadas con este componente están relacionadas entre sí en los procesos de nitrificación. El segundo componente parece estar relacionado con este aspecto del ciclo del nitrógeno, de tal manera que las muestras quedaron ordenadas por su mayor o menor actividad nitrificante.



Bajamar Media B-P Pleamar

Figura 4.36.- Valores medios del componente I en cada uno de los puntos de muestreo y en los tres momentos de marea (Bajamar; Media B-P; Pleamar). En - - - , se han representado las isolineas superficiales y ---- las de la columna de agua.

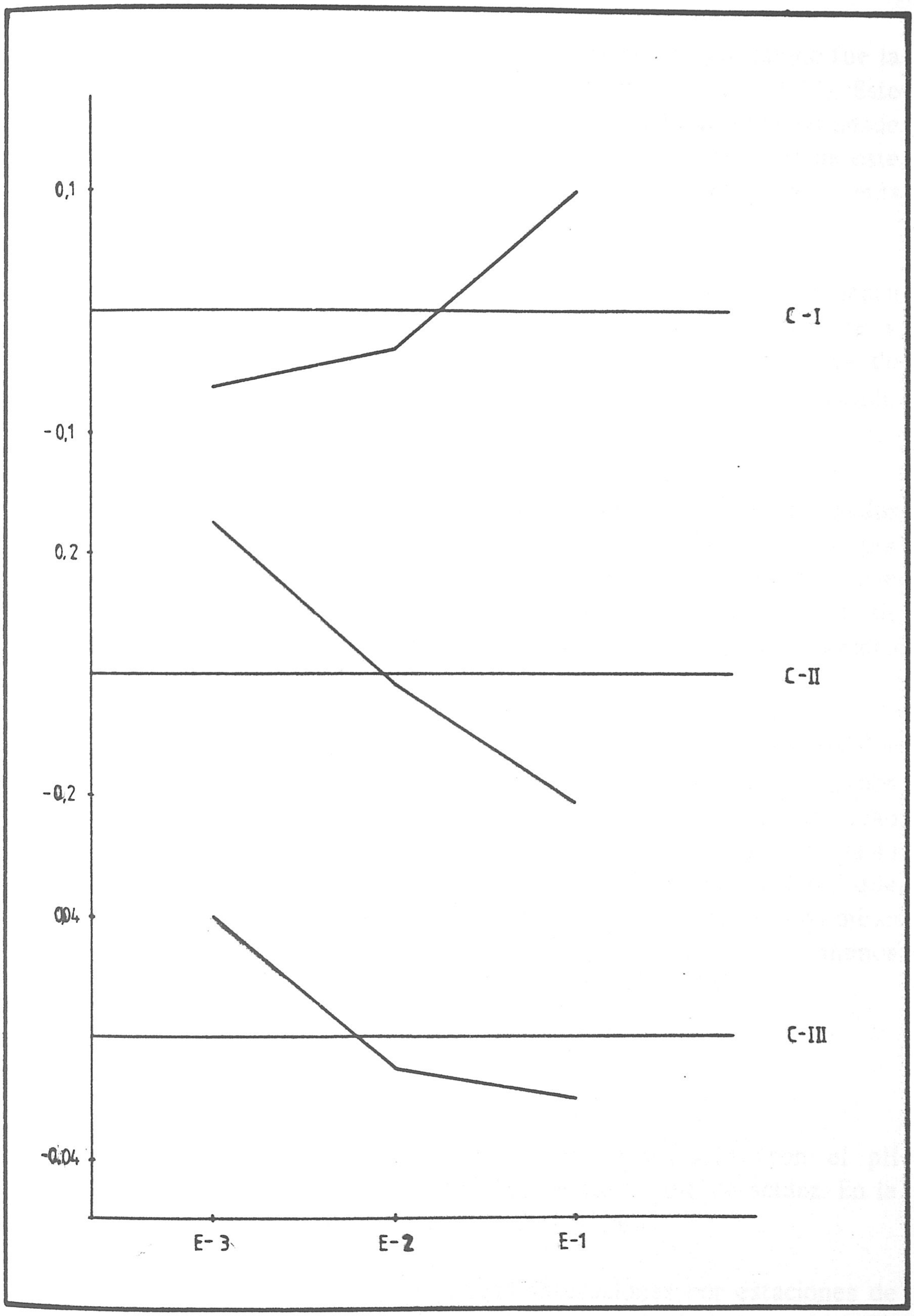


Figura 4.37.- Valores medios de las saturaciones de los componentes principales en las estaciones de muestreo.

La estación que presentó mayor valor de saturación medio fue la estación 3, seguida de la estación 2 y la estación 1 (figura 4.37). Este componente, al igual que el C-I, presenta una variabilidad espacial desde la estación más fluvial a la más marina. Atendiendo al carácter de este eje, podríamos decir que los procesos de nitrificación son más importantes en la parte más interna del estuario.

La evolución anual de este componente se muestra en la figura 4.35. Presentó los valores más altos en los meses de noviembre y diciembre. En estos meses, se dieron las mayores concentraciones de compuestos del nitrógeno inorgánico (NO^-_3, NO^-_2 y NH^+_4), coincidiendo con los meses de máxima turbidez (figura 4.10).

La figura 4.38 -en la que se han representado las coordenadas relativas- muestra la ubicación de las muestras en el plano definido por el primer y segundo componente principal; aparecen dos grupos, uno que engloba las muestras de invierno -principios de primavera y otro las de verano - principios de otoño, separados ambos por un tercero conteniendo las del mes de abril.

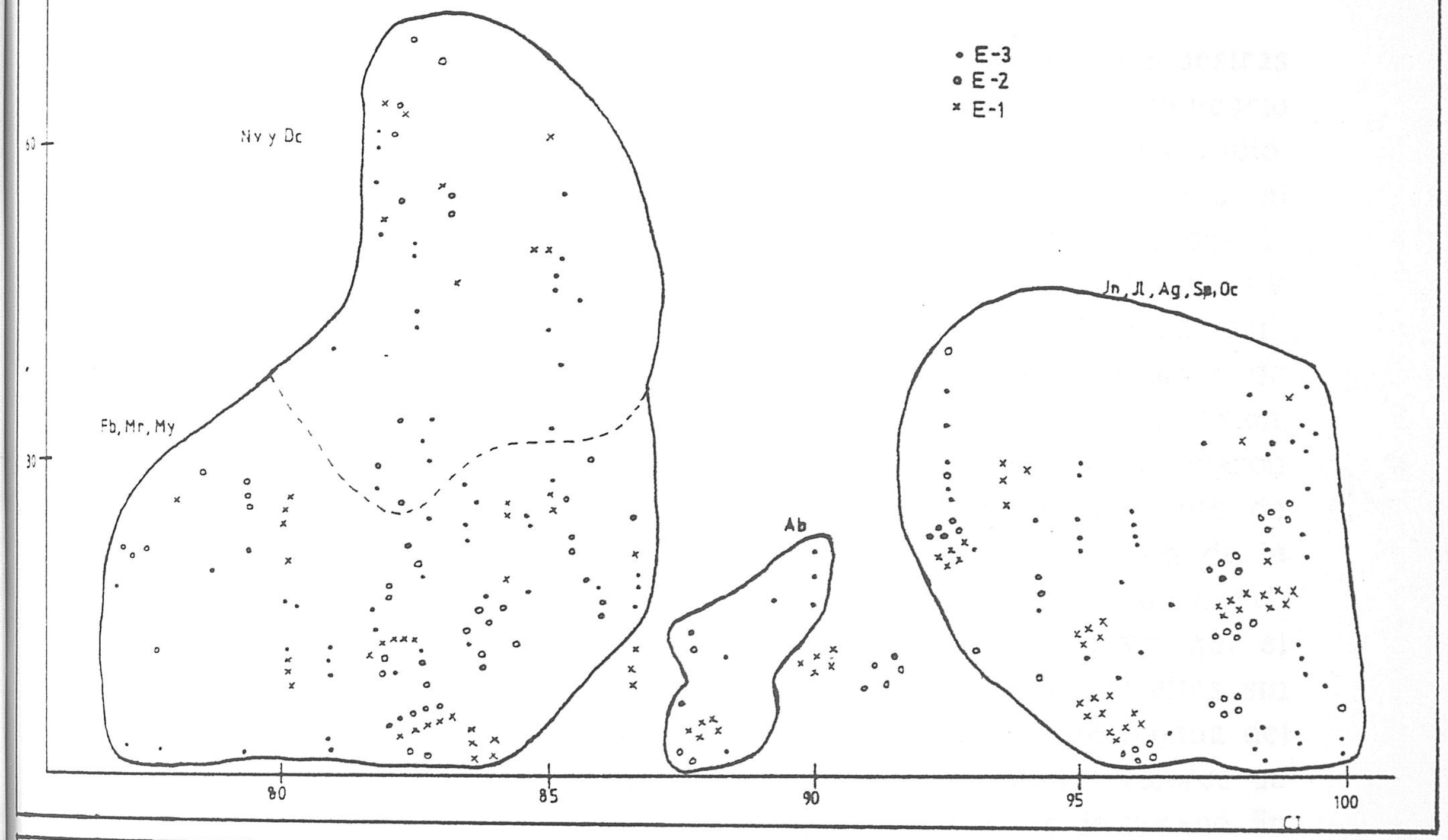
La figura 4.39, en la que se ha representado los valores medios de los componentes I y II, nos presenta la estación 3 como la menos salina, con más nutrientes, menos temperatura y mayor actividad nitrificante. La estación 2 (que en el espacio real está más cercana a la 1) muestra más cercanía en el valor del componente I con la estación 3 que con la 1; sin embargo, el valor del componente II es intermedio a ambas estaciones (42%). La estación 1 fue la más salina, más cálida, con menos concentración de nutrientes y presentó menos nitrificación.

Componente III

Este componente presentó una fuerte correlación con el pH (0.845), de modo que lo podríamos definir como un eje de acidez. En la figura 4.35 se muestra la evolución anual del mismo.

Al calcular el valor medio de las saturaciones por estaciones de muestreo, figura 4.37, también se obtuvo una variabilidad espacial. La estación 3, se mostró como la más neutra y la estación 1 como la más básica. La representación, figura 4.39, en los planos de las componentes I y III de las estaciones nos mostró el gradiente longitudinal de la ría con

Figura 4.38.- Ubicación de las muestras en el plano definidos por los dos primeros componentes principales (CI y CII)(Coordenadas relativas.



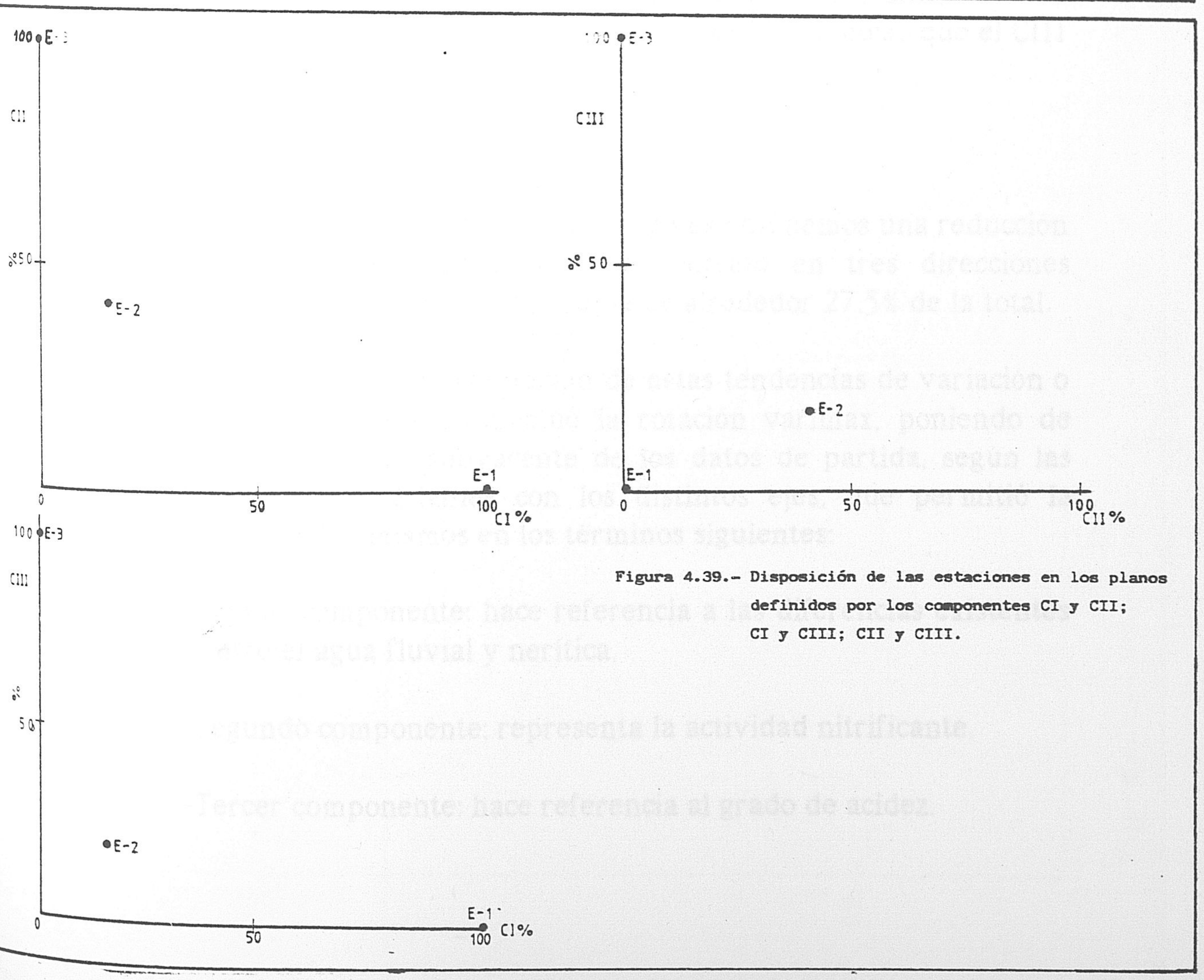


Figura 4.39.- Disposición de las estaciones en los planos definidos por los componentes CI y CII; CI y CIII; CII y CIII.

la estación 2 más cercana a la 3 que a la estación 1, tanto en el componente I como en el III.

La representación de las coordenadas relativas de las muestras respecto a los componentes I y III, figura 4.40, nos da un calendario peculiar de la evolución de las aguas, a lo largo del período de estudio. Las muestras de febrero presentaron valores bajos respecto al componente I y altos respecto al III; en marzo los valores del CI disminuyeron (coincide con una bajada de temperatura en dicho mes) y se mantuvieron semejantes a los de febrero con respecto al CIII. En abril, el CI adquirió valores mayores. Sin embargo, en el mes de mayo de nuevo disminuyeron los valores respecto a este eje, hubo una regresión, ya que las condiciones climatológicas que se dieron en este mes llevaron consigo el lavado de las tierras y por consiguiente, el aumento de nutrientes en la ría, por parte del río; junto con una dilución de la salinidad por parte de la lluvia acaecida. En el mes de junio de nuevo aumentó el valor del CI; agosto siguió con valores altos, a la vez que el CIII disminuyó de valor; en septiembre el CI siguió con valores altos, sin embargo, hubo una disminución del pH con la consiguiente bajada del CIII. En octubre de nuevo ocurrió una regresión hacia los valores de verano, situándose las muestras de este mes junto con las de verano. En noviembre se volvió a los valores invernales del CI, mientras que el CIII disminuyó.

4.9.2.2.- **Resumen**

Del análisis de componentes principales obtenemos una reducción de la información de partida que se concretó en tres direcciones principales de variación, con una pérdida de alrededor 27.5% de la total.

Para una mejor interpretación de estas tendencias de variación o componentes principales se efectuó la rotación varimax, poniendo de manifiesto la estructura subyacente de los datos de partida, según las saturaciones de las variables con los distintos ejes, que permitió la interpretación de los mismos en los términos siguientes:

-Primer componente: hace referencia a las diferencias existentes entre el agua fluvial y nerítica.

-Segundo componente: representa la actividad nitrificante.

-Tercer componente: hace referencia al grado de acidez.

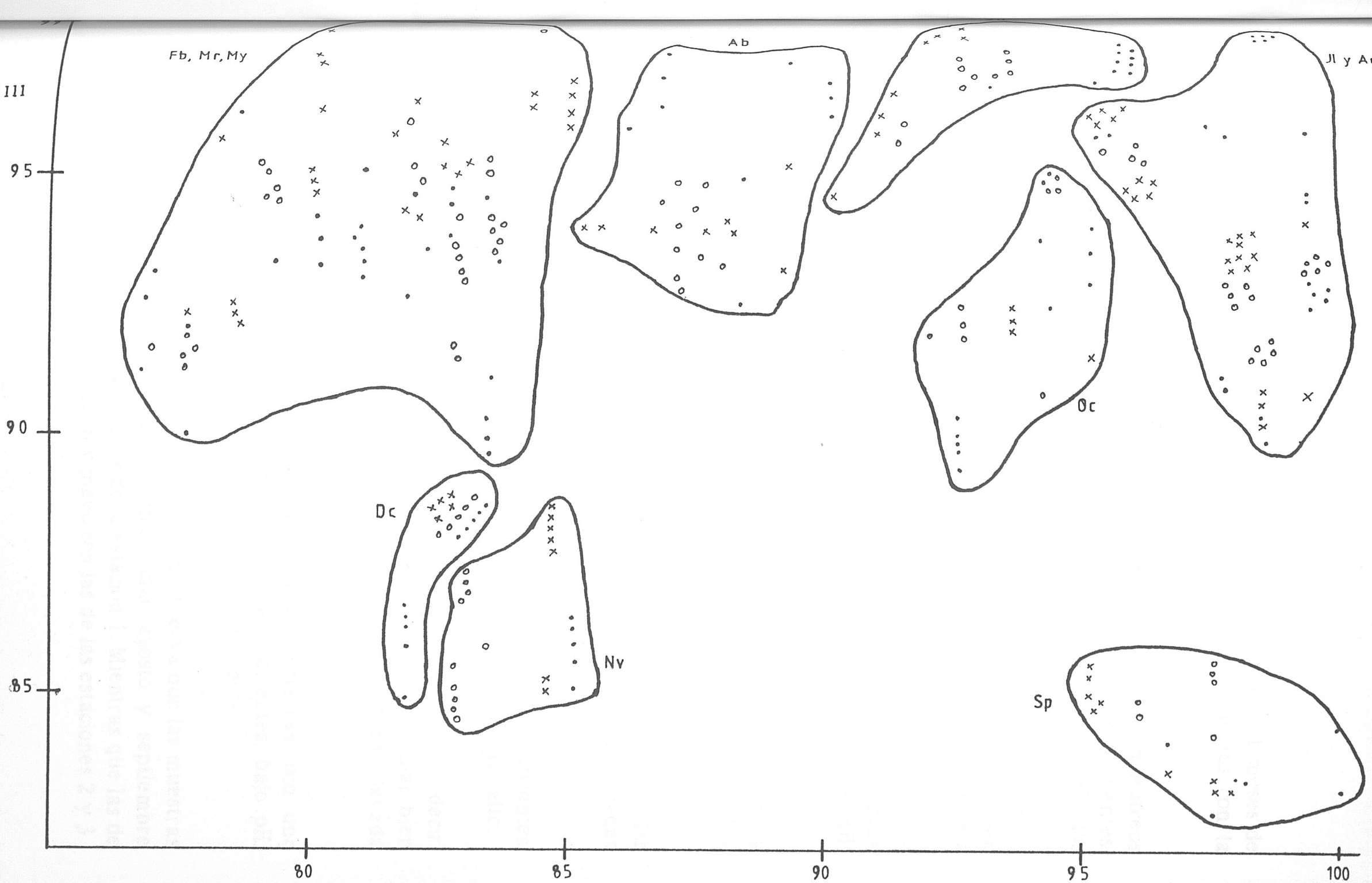


Figura 4.40.- Ubicación de las muestras en el plano definido por CI y CIII.
(Coordenadas relativas).

En la figura 4.41, se muestra la distribución de los 11 meses de muestreo en el subespacio definido por los tres componentes con la siguiente composición y características:

a) Muestreos de altos valores en los tres ejes, es decir, muestreos de alta salinidad, elevadas temperaturas, pocos nutrientes, elevada nitrificación y elevado pH (más básicos); los correspondientes a junio, julio, agosto y octubre.

b) Muestreos caracterizados por una elevada salinidad, baja actividad nitrificante y pH más neutro; el correspondiente a septiembre.

c) Muestreos de baja salinidad, alto contenido en nutrientes, temperaturas bajas, elevada actividad nitrificante y bajo pH: noviembre y diciembre.

d) Muestreos de baja salinidad, alta actividad nitrificante y elevado pH; las correspondientes a febrero, marzo, abril y mayo.

Al representar las estaciones en el subespacio de las componentes I, II y III, figura 4.42, quedan perfectamente diferenciadas unas de otras, según el eje longitudinal de la ría:

-Estación 3: Con baja salinidad, alta concentración de nutrientes, temperatura baja, elevada actividad nitrificante y pH más alto.

-Estación 2: Más cercana a la estación 3 que a la 1, es decir, presenta características fluviales. Con una salinidad más bien baja, alto contenido en nutrientes, baja temperatura, elevada actividad nitrificante y pH alto.

-Estación 1: Con características de aguas neríticas, con una elevada salinidad, baja concentración de nutrientes, bajo pH, temperaturas elevadas y baja actividad nitrificante.

Al comparar las figuras 4.41, y 4.42 se observa que las muestras que corresponden a los meses de junio, julio, agosto y septiembre presentan una gran similitud con las de la estación 1. Mientras que las de los meses de febrero, marzo, abril y mayo con las de las estaciones 2 y 3.

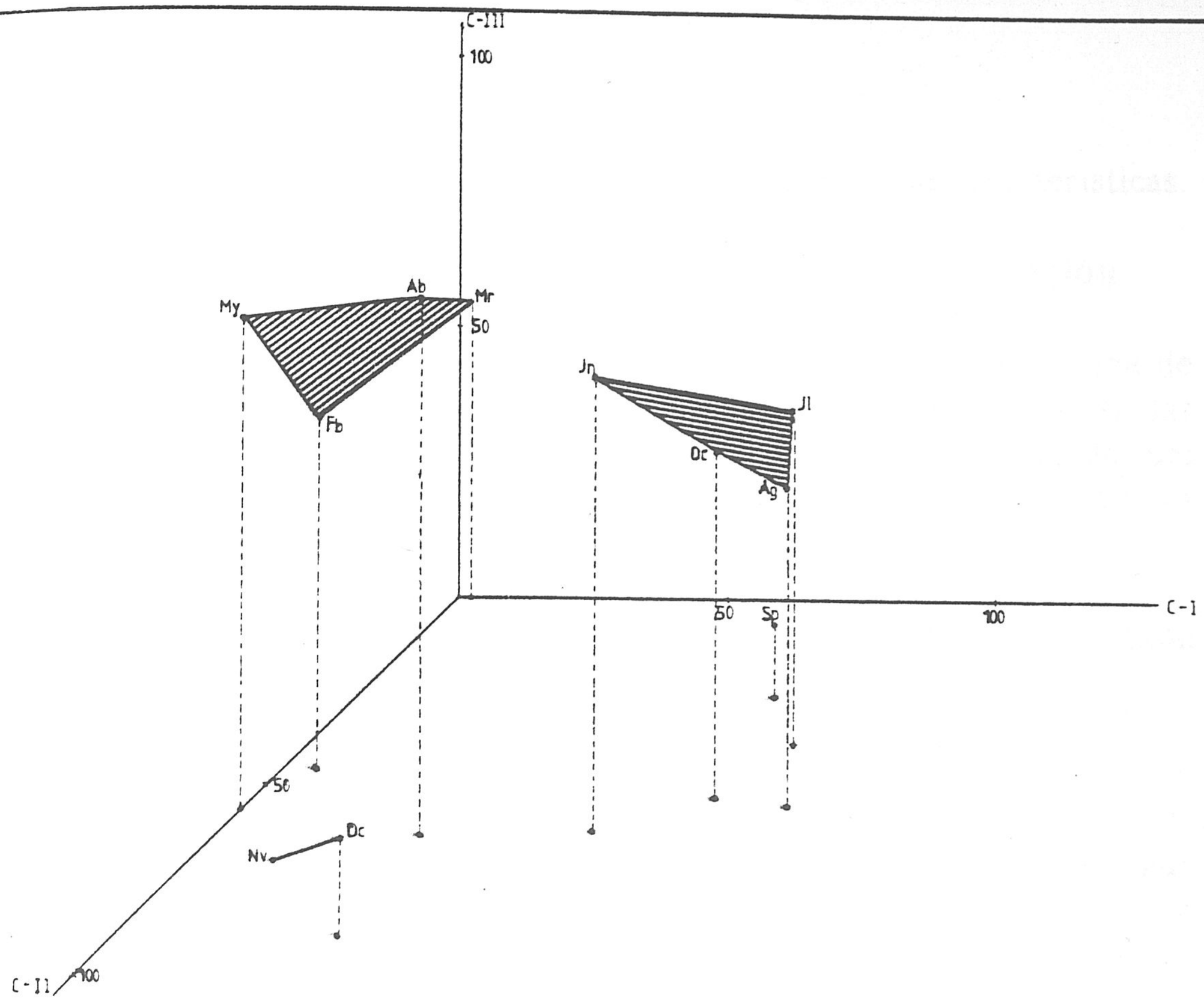


Figura 4.41.- Ubicación de los meses en el subespacio definido por los tres primeros componentes principales (Coordenadas relativas).

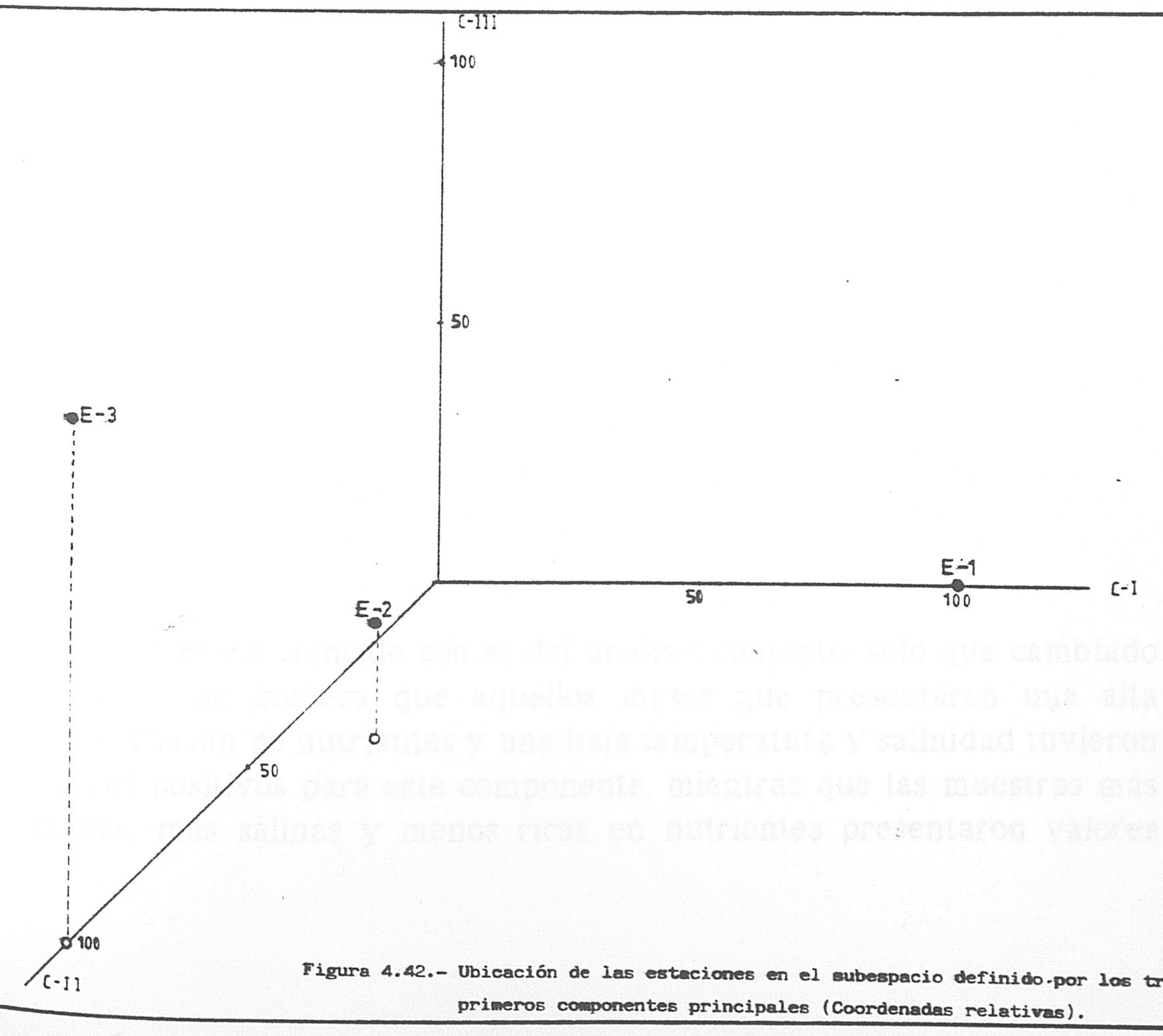


Figura 4.42.- Ubicación de las estaciones en el subespacio definido por los tres primeros componentes principales (Coordenadas relativas).

Las escalas espacial y temporal coinciden en estas características.

4.9.3.- Principales tendencias de variación en cada estación

El análisis de componentes principales se repitió en cada una de las tres estaciones de muestreo. El objetivo era comprobar si las tendencias de variación se mantenían en el espacio estudiado del estuario. La información de partida la constituyeron los datos de las variables estudiadas durante los 11 meses de muestreo.

Los resultados obtenidos en las distintas estaciones se presentan a continuación:

4.9.3.1.- Estación 3

En la figura 4.43, se indica el porcentaje de variación acumulada por los tres primeros componentes. La posición de las variables respecto a los ejes se muestra en la figura 4.44.

El primero absorbió el 33.7% de la varianza original y los dos primeros el 59%. Realizada la rotación varimax, las variables que mostraron altas saturaciones con el primer eje fueron:

-Con valores negativos:

*T^a (-0.844)
*AT (-0.659)
*Salinidad (-0.543)

-Con valores positivos:

*NO^-_3 (0.762)
*SiO^-_2 (0.681)
*$PO^=_4$ (0.815)

Este eje coincide con el del análisis conjunto, sólo que cambiado de signo, de manera que aquellos meses que presentaron una alta concentración de nutrientes y una baja temperatura y salinidad tuvieron valores positivos para este componente, mientras que las muestras más cálidas, más salinas y menos ricas en nutrientes presentaron valores

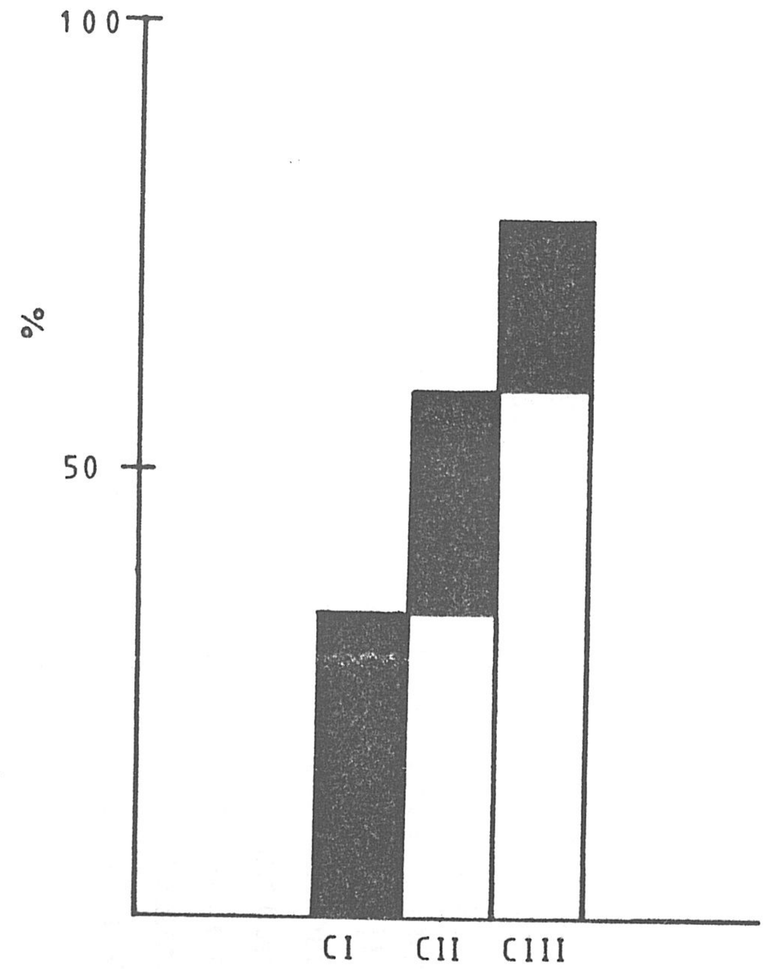


Figura 4.43.- Porcentaje de variación acumulada por los tres primeros componentes principales en E-3 (análisis realizado sobre las variables físicas y químicas).

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

negativos. Este cambio de signo del eje con respecto a las variables viene dado por el análisis matemático y no tiene ninguna significación ecológica.

El componente II, absorbió el 25.3% de la varianza y presentó correlación positiva con los nitritos (0.74), amonio (0.73), N:P (0.66) y oxígeno disuelto (0.564) y negativa con la salinidad (-0.3).

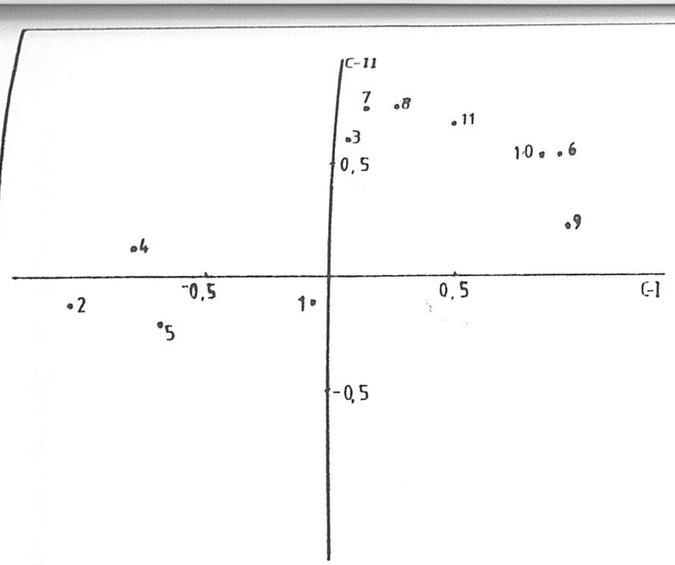
El componente III con el 19.4% de la varianza fue también un eje de acidez, de manera que las muestras más básicas quedaron separadas de las más ácidas.

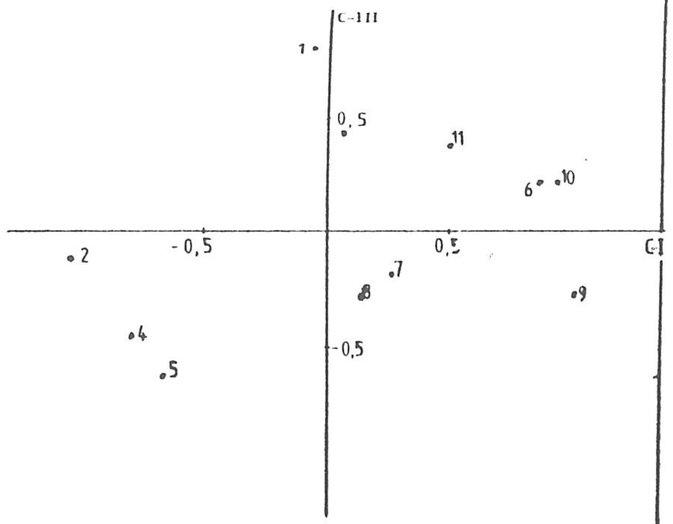
En la figura 4.45 se muestra la evolución anual de las componentes.

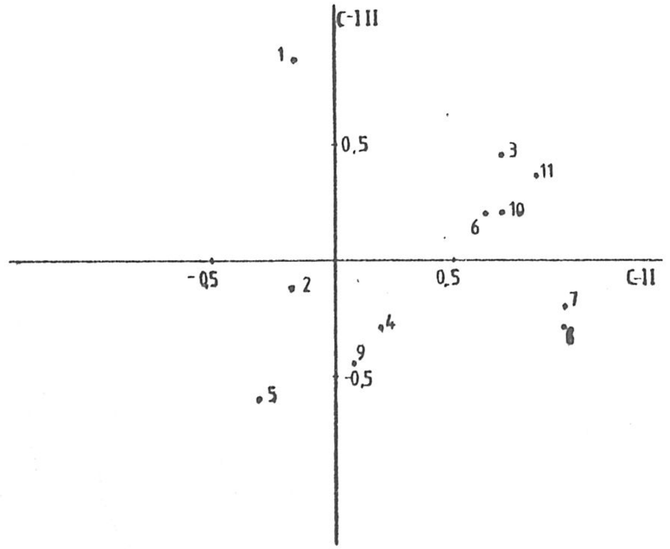
Al representar las muestras en el plano de las componentes I y II (figura 4.46) quedan las muestras de invierno - principios de primavera, separadas de las de otoño - verano.

Con respecto a los ejes I y III, se ordenan según el ciclo anual, pero con la diferencia respecto al análisis global de que las muestras más ricas en nutrientes y menos salinas, presentaron valores positivos para las dos componentes (febrero, marzo y mayo); las de abril de bajamar y media marea subiendo presentan valor positivo para el componente I y para el III y las de pleamar positivo para el componente III y negativo para el C-I. En junio se rompió la continuidad para las dos componentes y las muestras presentaron valores positivos para el componente III y negativos para el I. Septiembre y octubre mostraron valores negativos para ambos ejes. En noviembre de nuevo se rompió la continuidad y las muestras tomaron valores positivos para el componente I y negativos para el III (figura 4.47).

Representadas las muestras respecto a las componentes II y III (figura 4.48), aparece la estratificación vertical, la cual es muy común en la hidrografía del estuario. La figura 4.48 presenta los grupos de muestras de cada época, debidamente separados de superficie a fondo, según la dirección del segundo componente. Las muestras de fondo presentan valores menores que las de superficie y generalmente negativos, es decir poseen menos oxígeno, la relación N:P es menor, además de menos concentración de nitrito y de amonio y son más salinas ya que este eje también está correlacionado con la salinidad







1.- pH
2.- Temperatura
3.- OD
4.- Alcalinidad
5.- Salinidad
6.- Nitratos
7.- Nitritos
8.- Amonio
9.- Fosfatos
10.- N:P
11.- Silicatos

Figura 4.44.- Posición de las variables físicas y químicas según los planos definidos por CI y CII; CI y CIII; CII y CIII en el ACP realizado sobre las muestras de E-3

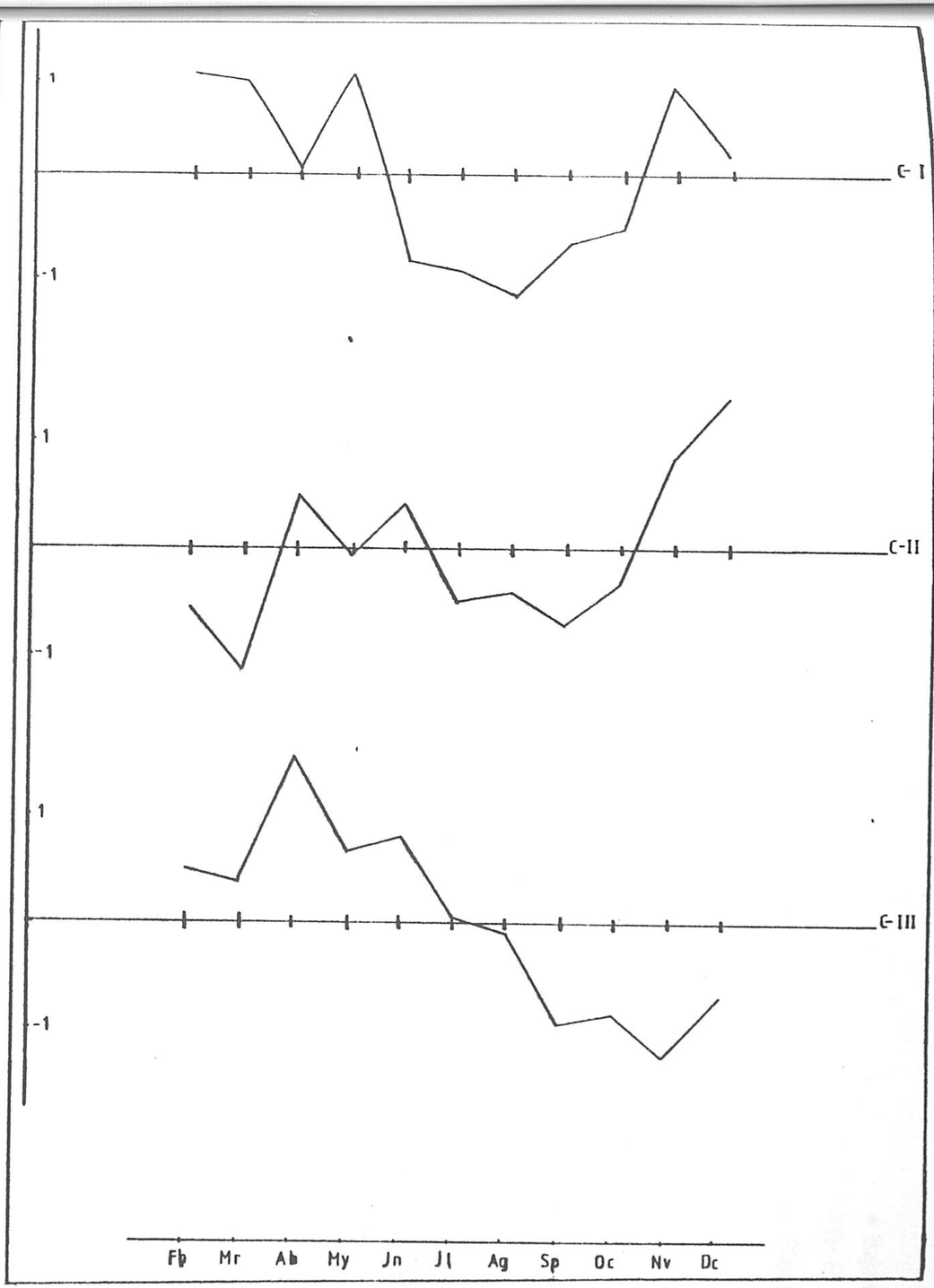


Figura 4.45.- Evolución temporal de los valores de saturación de los Componentes Principales en E-3 (valores medios).

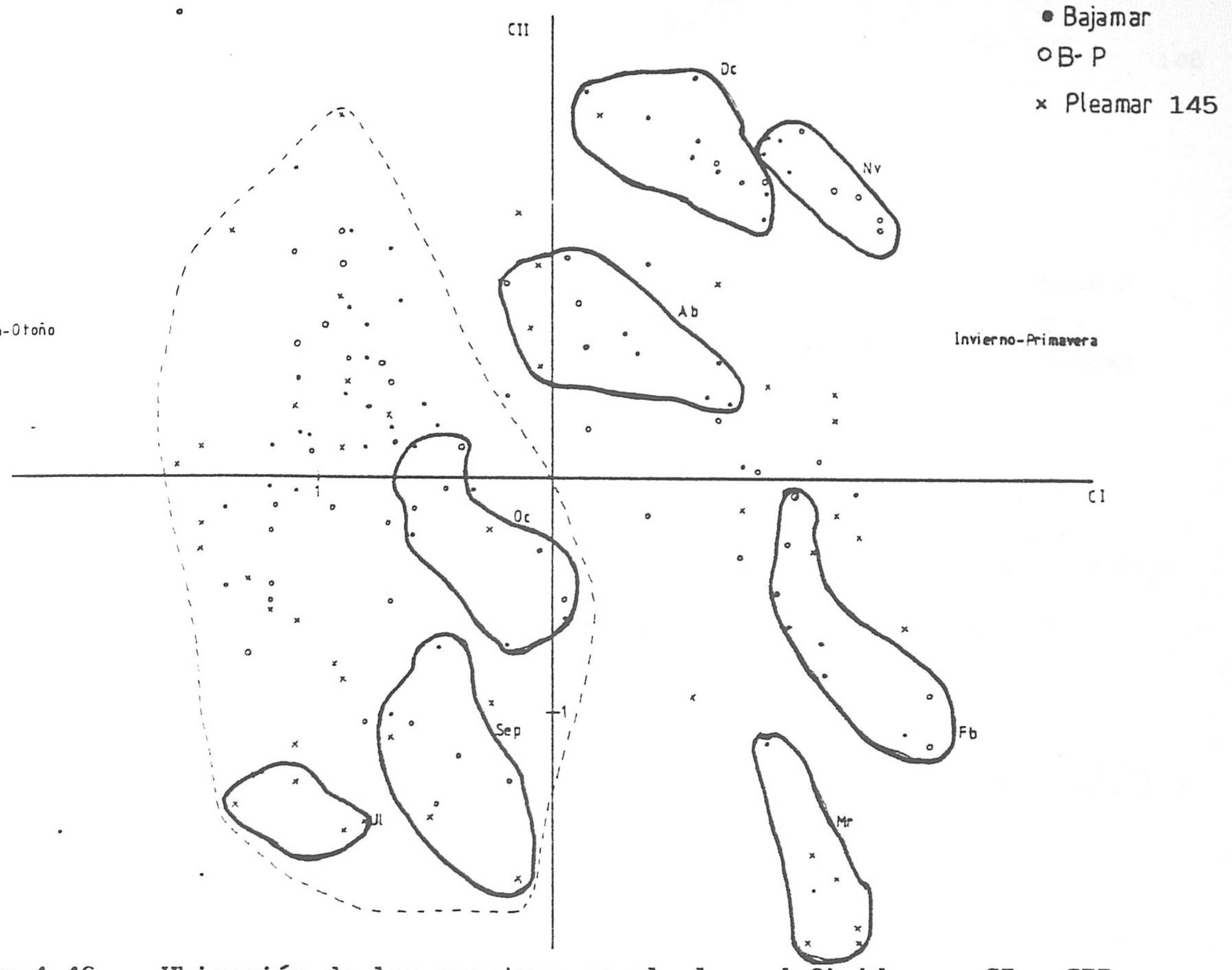


Figura 4.46.- Ubicación de las muestras en el plano definido por CI y CII en E-3.

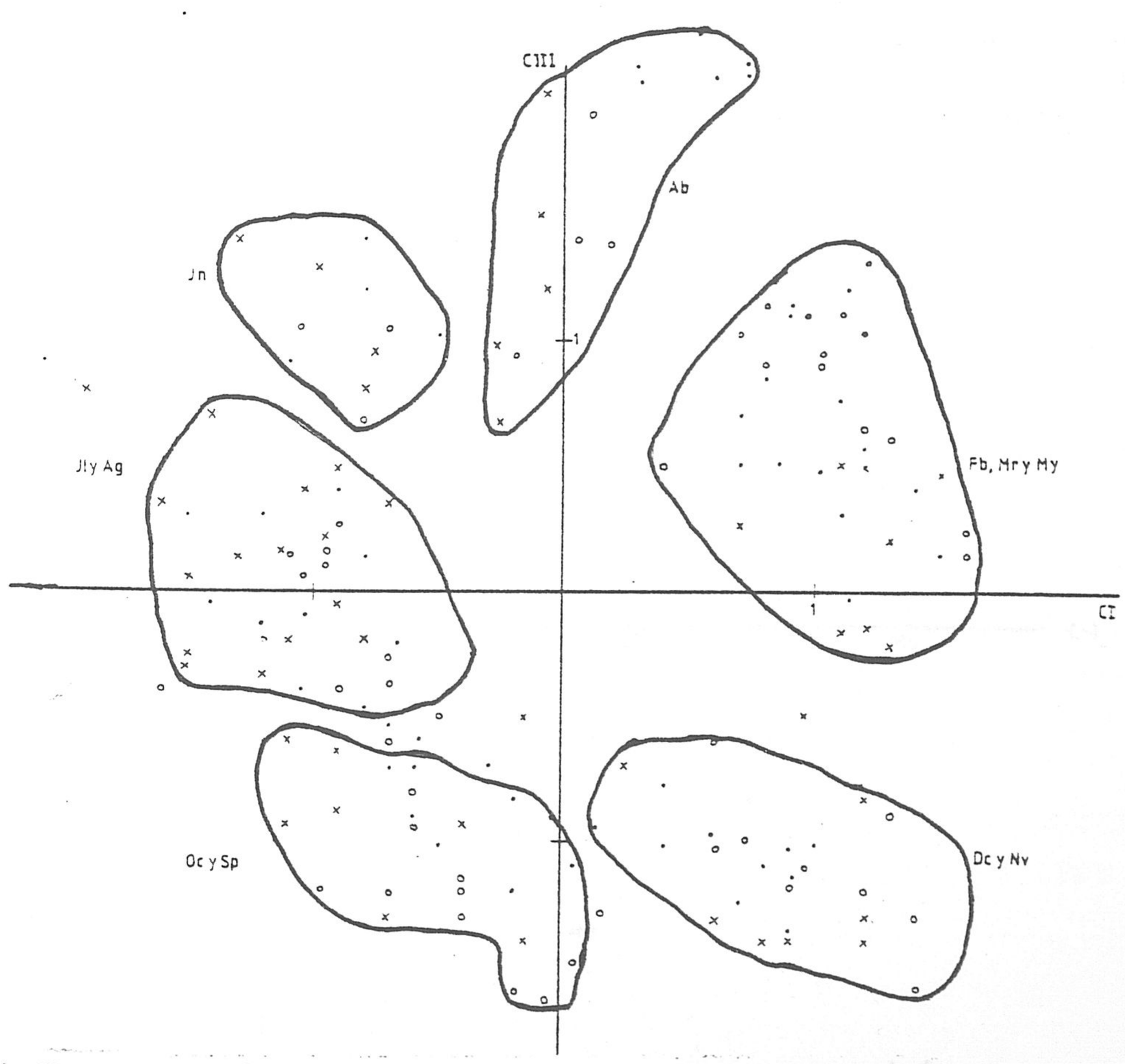


Figura 4.47.- Ubicación de las muestras en el plano definido por CI y CIII en E-3.

Figura 4.48.- Ubicación de las muestras en el plano definido por CII y CIII en E-3.

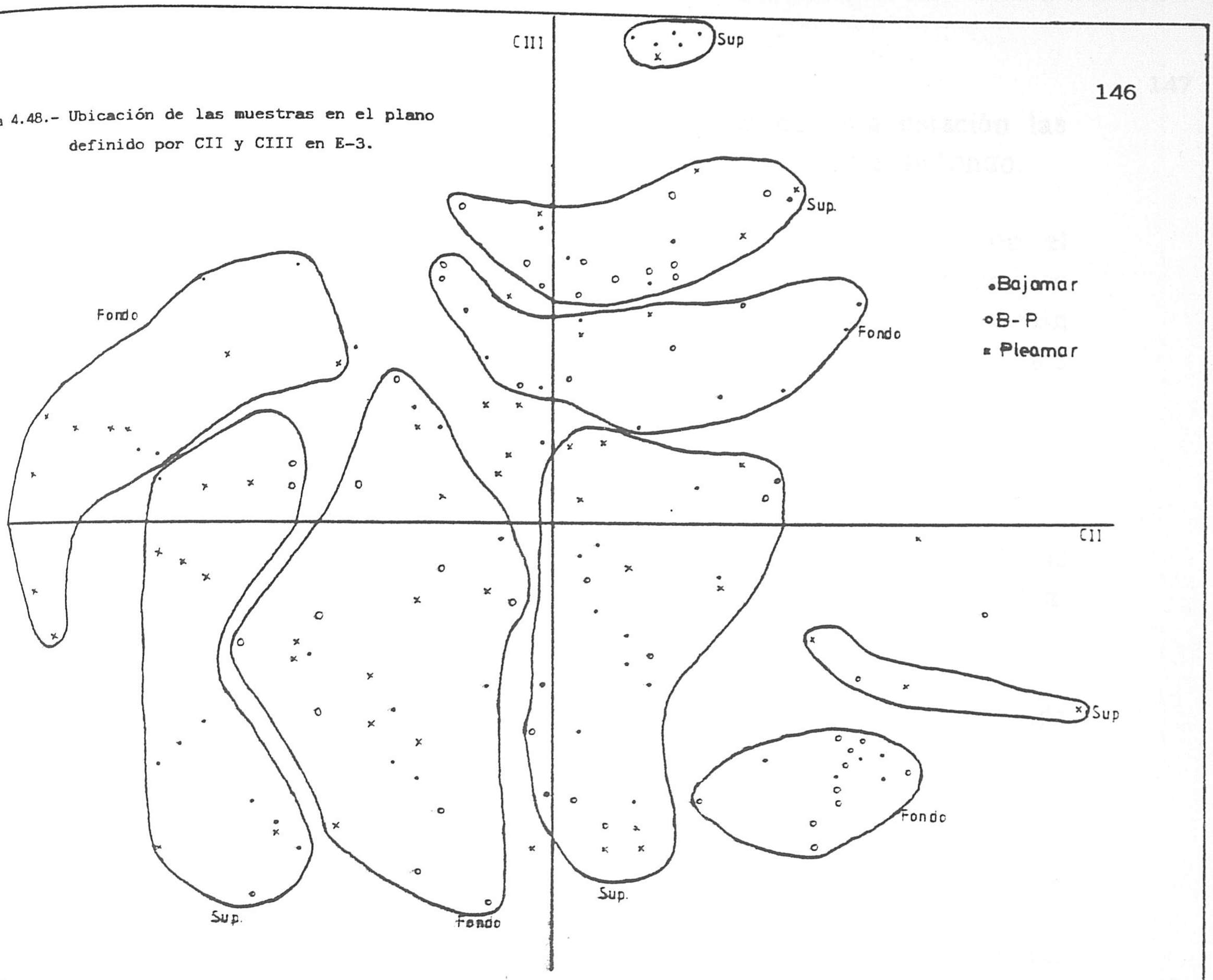
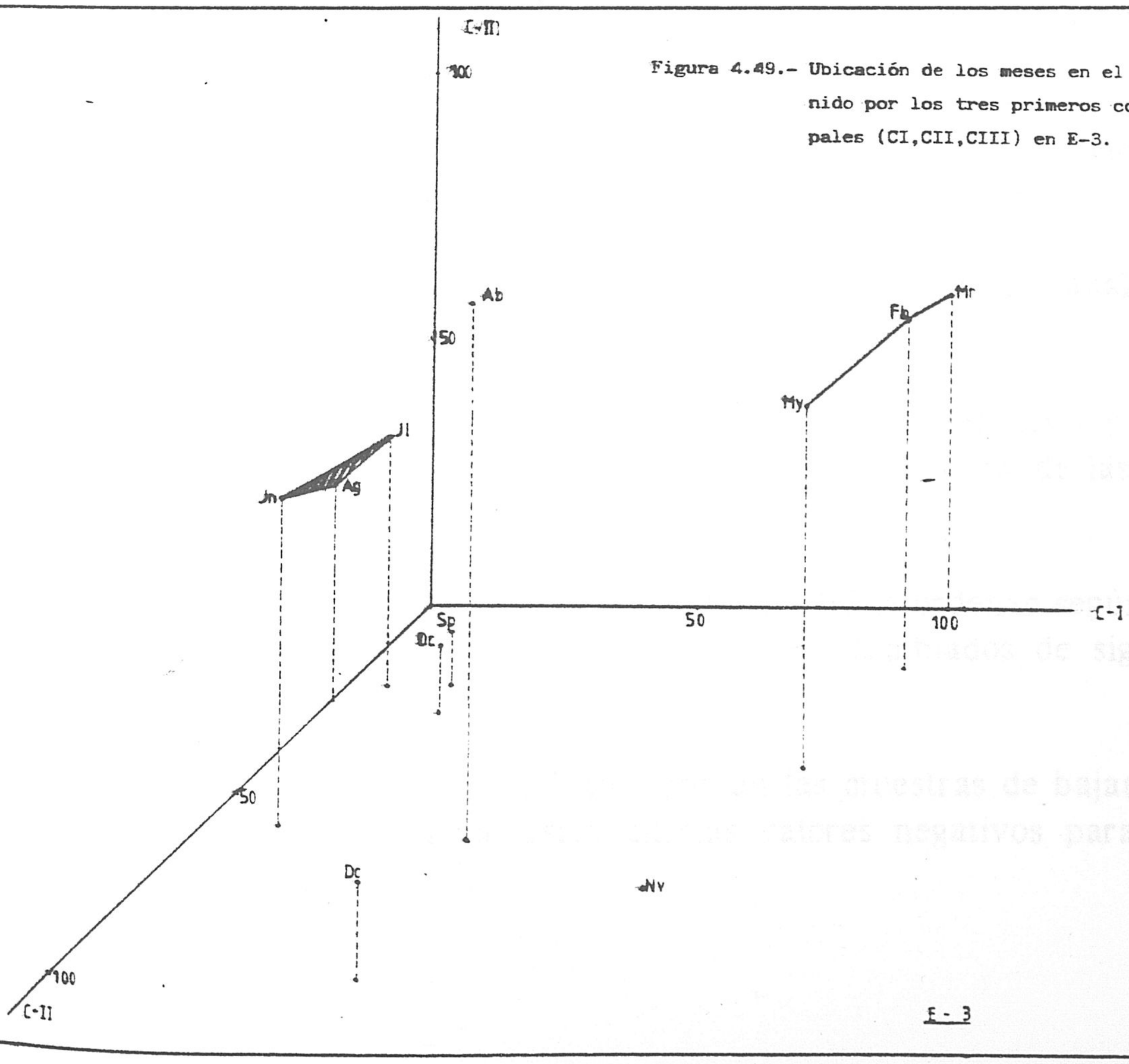


Figura 4.49.- Ubicación de los meses en el subespacio definido por los tres primeros componentes principales (CI,CII,CIII) en E-3.



negativamente. Según esto podríamos decir que en esta estación las muestras que presentan menor actividad nitrificante son las de fondo.

Representando las medias mensuales de las muestras en el subespacio de las tres componentes principales, figura 4.49, la imagen se invierte respecto al global pero, como dijimos, es debido a la correlación (positiva o negativa) que presentan las variables respecto de los componentes.

4.9.3.2.- Estación 2

Los tres primeros componentes absorbieron el 74.9% de la varianza total, correspondiéndole el 49% al primer componente, el 15% al segundo y el 10.5% al tercero.

La evolución anual de estos componentes se muestra en la figura 4.50.

El componente I se correlacionó positivamente con la temperatura (0.906), alcalinidad (0.806) y salinidad (0.683) y negativamente con los nitratos (-0.83), silicatos (-0.734) N:P (-0.642) y fosfatos (-0.589). Este eje coincidió plenamente con el del análisis global. La posición de las variables con respecto a este eje se muestra en la figura 4.51.

El componente II se correlacionó positivamente con el amonio (0.788) nitritos (0.789) oxígeno (0.735) y el CIII con el pH (0.862).

Estos componentes coincidieron con los anteriores análisis (estación 3 y global).

Al representar las muestras respecto a los componentes I y III (figura 4.52) se separan las muestras de primavera invierno, de las de verano otoño (igual que en la estación 3).

Representadas según los componentes I y III se ordenan según el ciclo anual (coincidiendo con la estación 3, pero cambiados de signo) (figura 4.53).

Los componentes II y III nos separan las muestras de bajamar de las de pleamar, tomando estas últimas valores negativos para el componente II (figura 4.54).

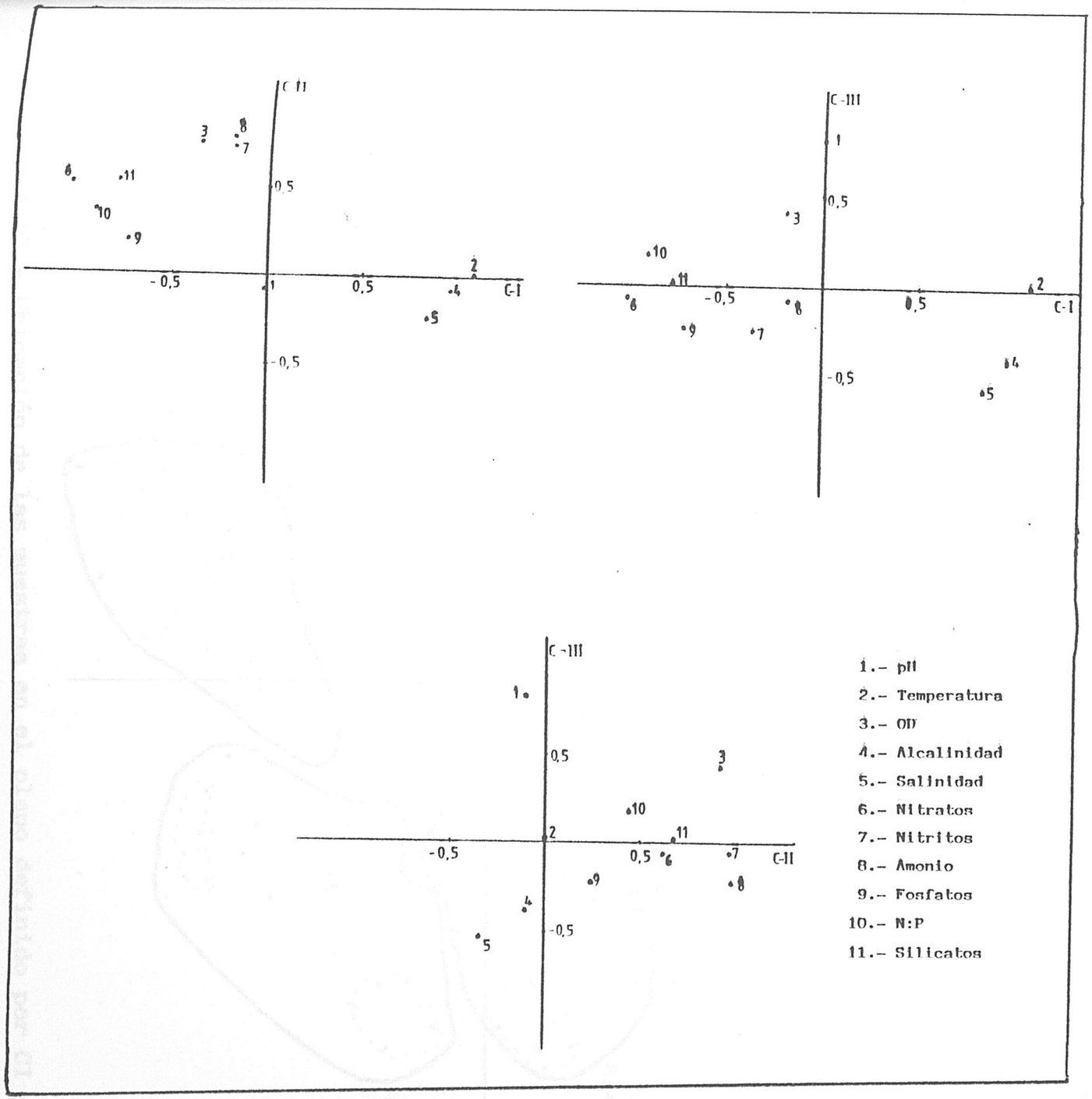


Figura 4.51.- Posición de las variables físicas y químicas según los planos definidos por CI y CII; CI y CIII; CII y CIII en el ACP realizado sobre las muestras de E-2

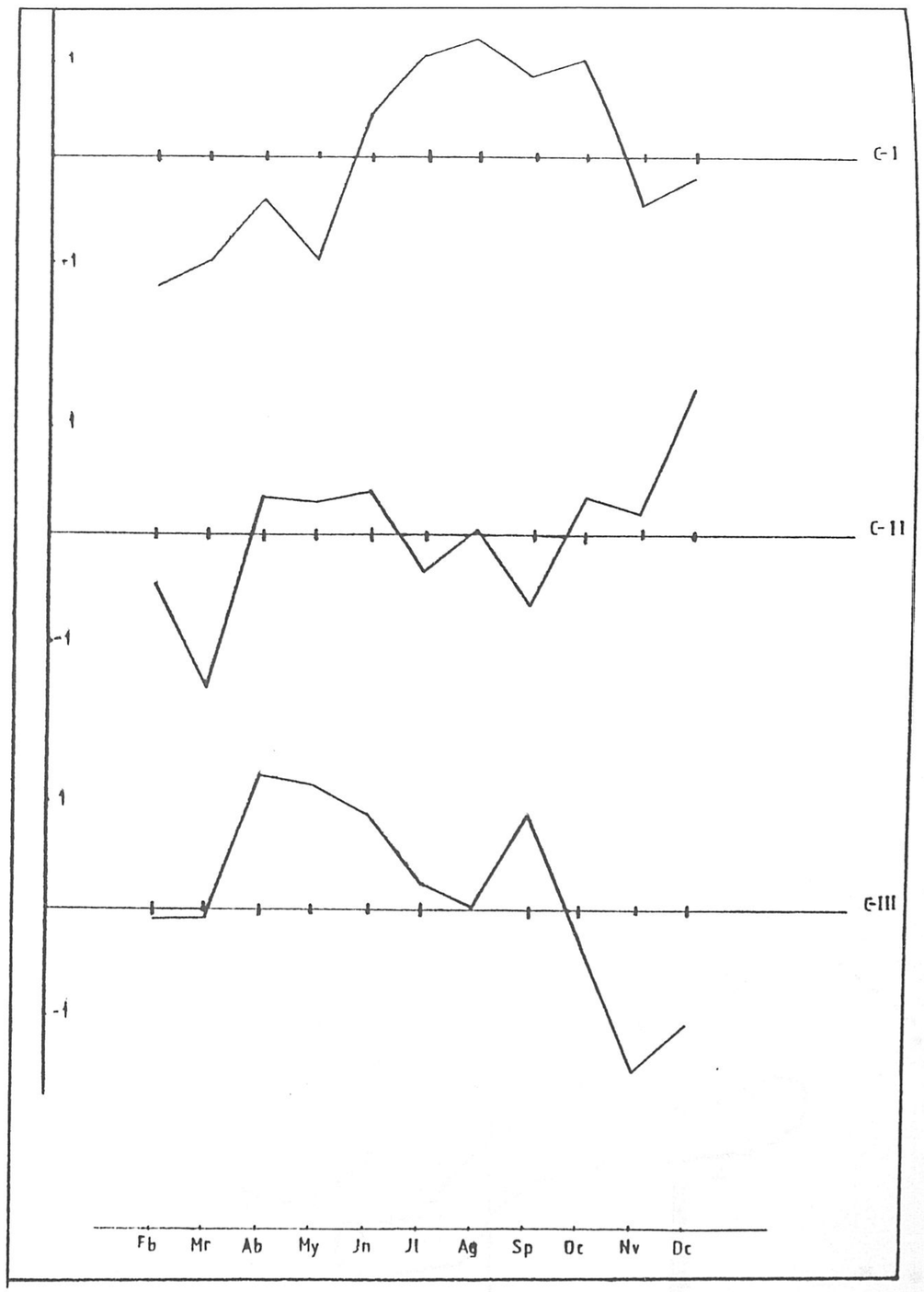


Figura 4.50.- Evolución temporal de los valores de saturación de los Componentes Principales en E-2 (valores medios).

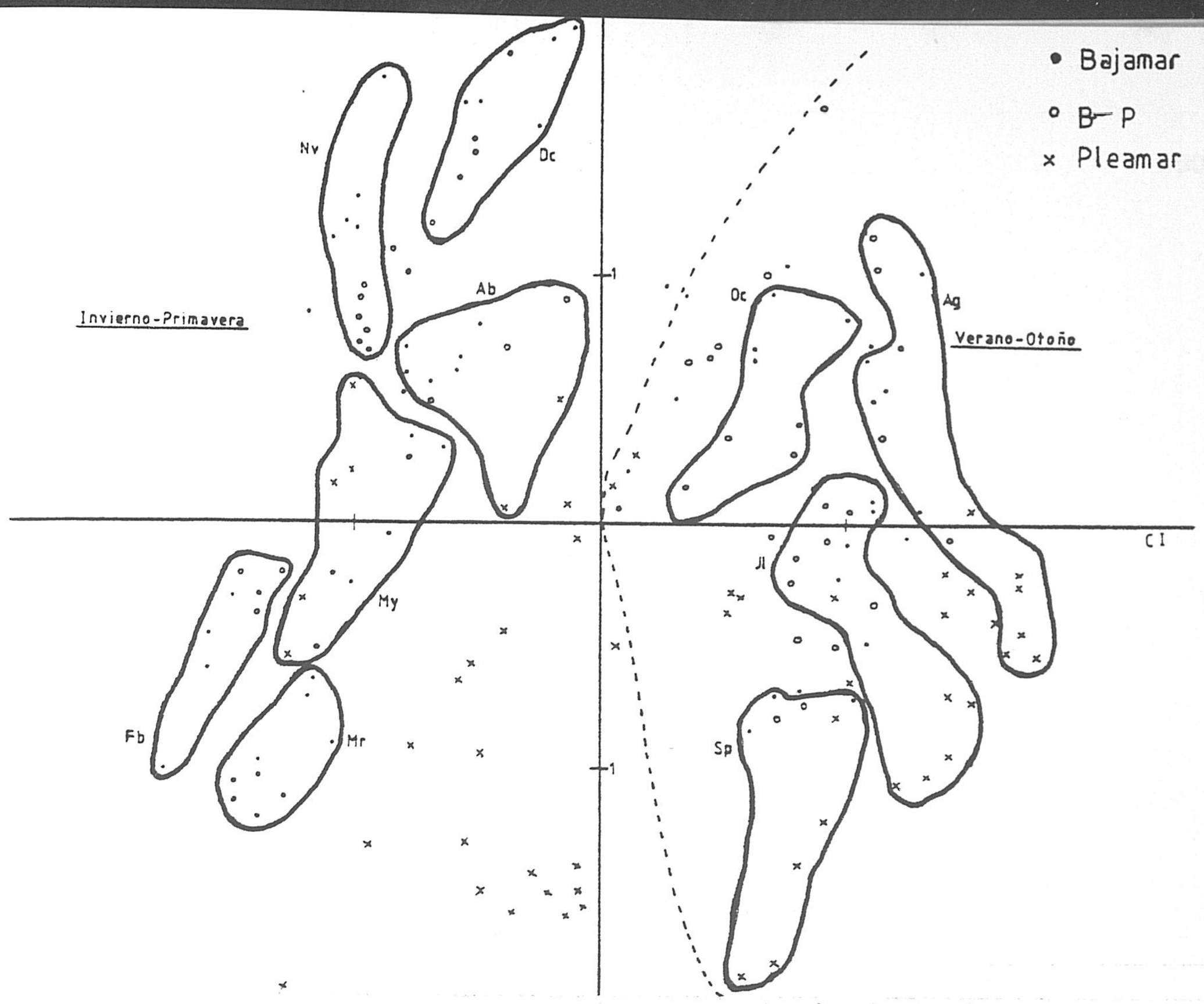


Figura 4.52.- Ubicación de las muestras en el plano definido por CI y CII en E-2.

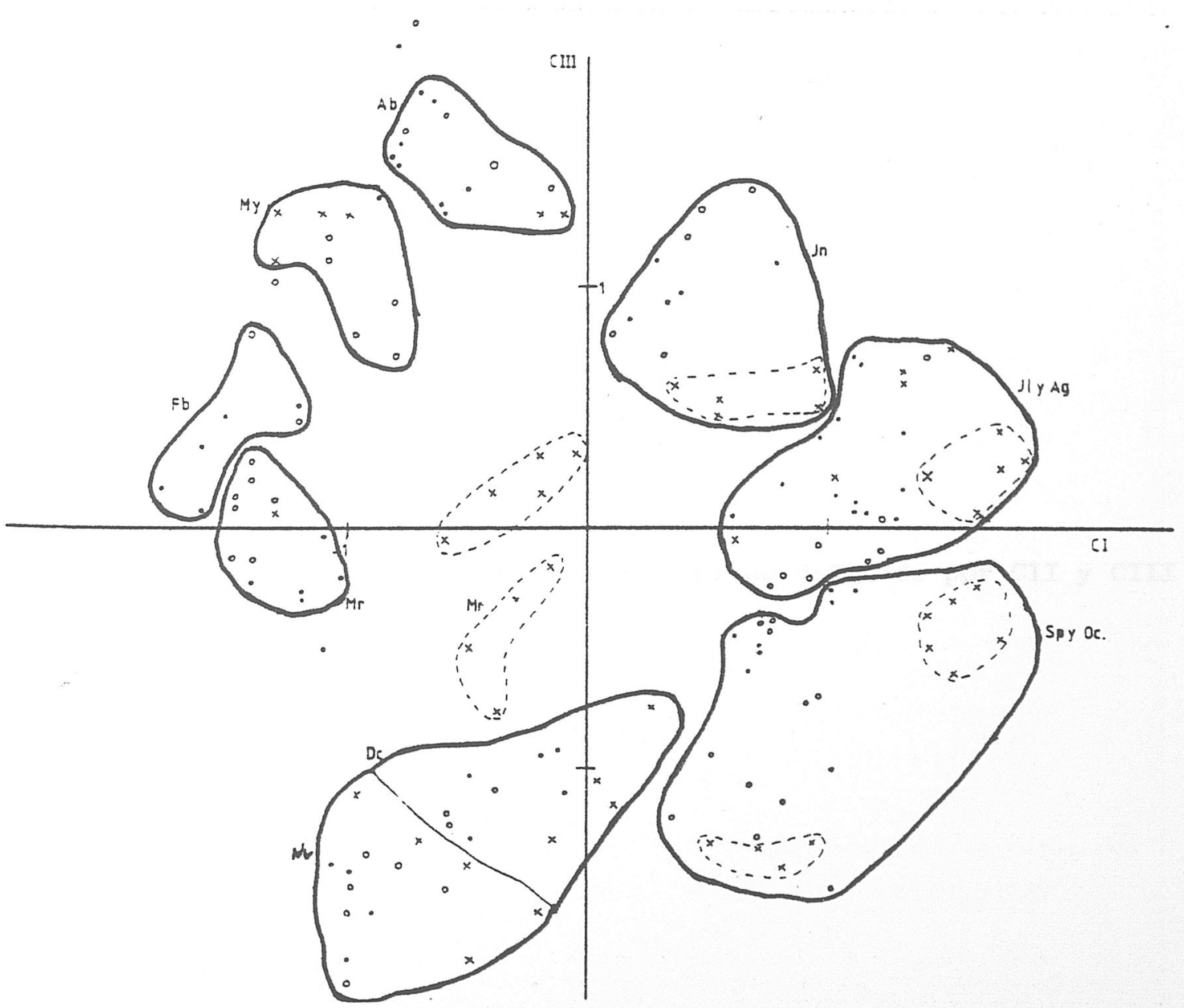


Figura 4.53.- Ubicación de las muestras en el plano definido por CI y CIII en E-2.

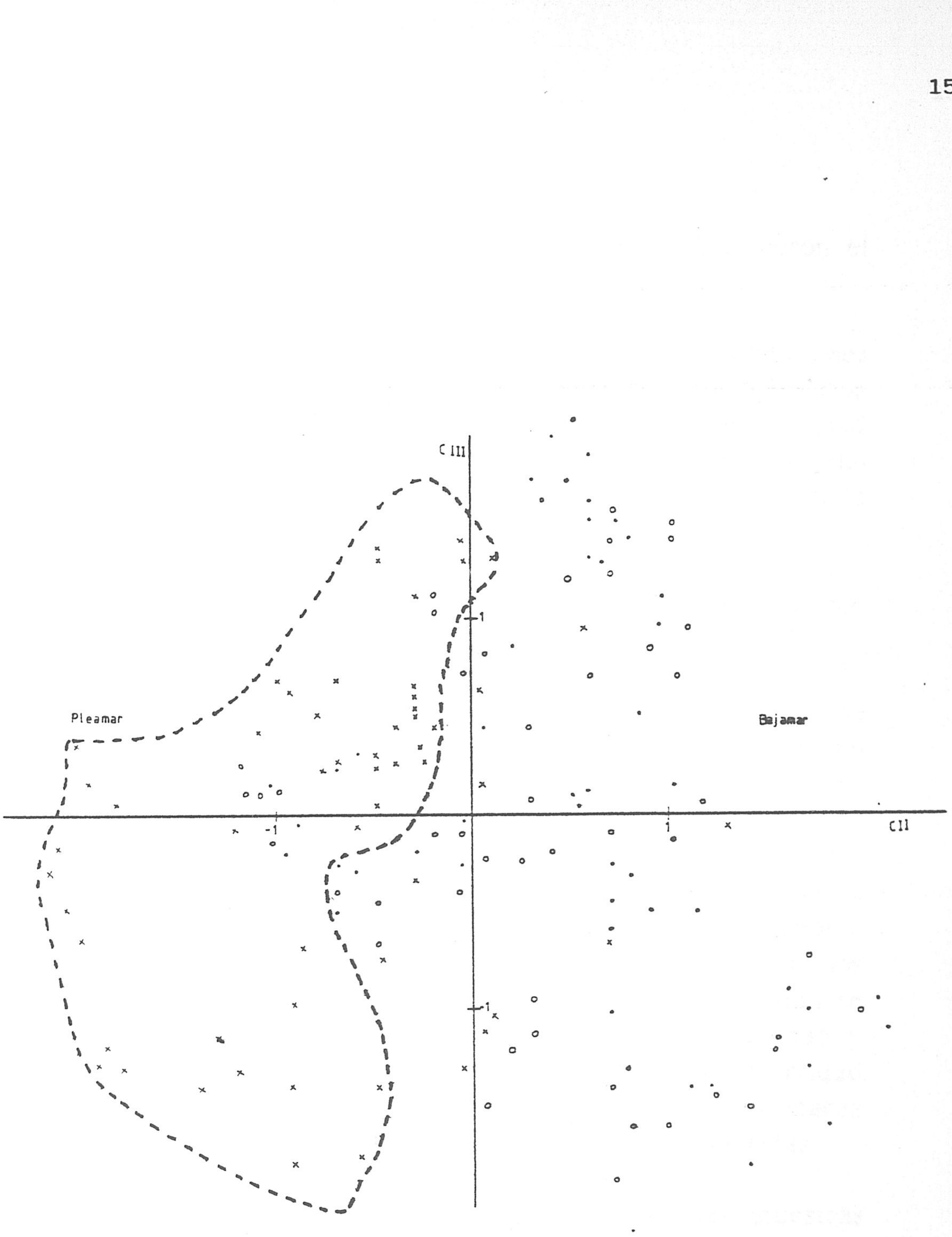


Figura 4.54.- Ubicación de las muestras en el plano definido por CII y CIII en E-2.

4.9.3.3.- Estación 1

En este análisis los tres primeros componentes absorbieron el 83.3% de la varianza total.

El componente I, que absorbió el 43.5%, presentó correlaciones positivas con los nitratos (0.835), N:P (0.753), silicatos (0.68) y fosfatos (0.67) y negativos con temperatura (-0.86), alcalinidad (-0.8) y salinidad (-0.79). Este componente coincide con el de la estación 3, pero al igual que aquél presenta distinto signo con respecto al análisis global y al de la estación 2.

En la figura 4.55, se muestra la posición de las variables respecto a este eje. La evolución anual del mismo se presenta en la figura 4.56.

El II componente absorbió el 25.6% de la varianza y se corelacionó positivamente con los nitritos (0.829), amonio (0.6) y oxígeno disuelto (0.77).

La representación de las muestras en el plano de los dos primeras componentes varió respecto a los análisis anteriores (figura 4.57). Las muestras de pleamar quedaron separadas de las de bajamar y media marea subiendo, y la mayoría tomaron valor negativo para los componentes I y II. Según estos dos componentes en esta estación se enfrentarían los dos tipos de aguas: la fluvial, de menor salinidad y temperatura, mayor concentración de nutrientes y menor actividad nitrificante, representadas por las muestras de bajamar y media marea subiendo; las de aguas neríticas (pleamar) de características opuestas.

En los análisis anteriores la representación de las muestras respecto a los componentes I y II las separaba de acuerdo con el carácter nerítico o fluvial a lo largo del año, es decir, nos daba idea del ciclo temporal. Sin embargo, en la estación 1 las diferencias de salinidad que se establecen a lo largo del ciclo mareal son mayores que las establecidas a lo largo del tiempo.

El componente III (absorbió el 9% de la varianza) prácticamente está gobernado por el pH (0.924), coincidiendo con los anteriores análisis.

Según los componentes I y III (figura 4.58), también aparece la separación entre bajamar y pleamar, quedando las muestras de pleamar

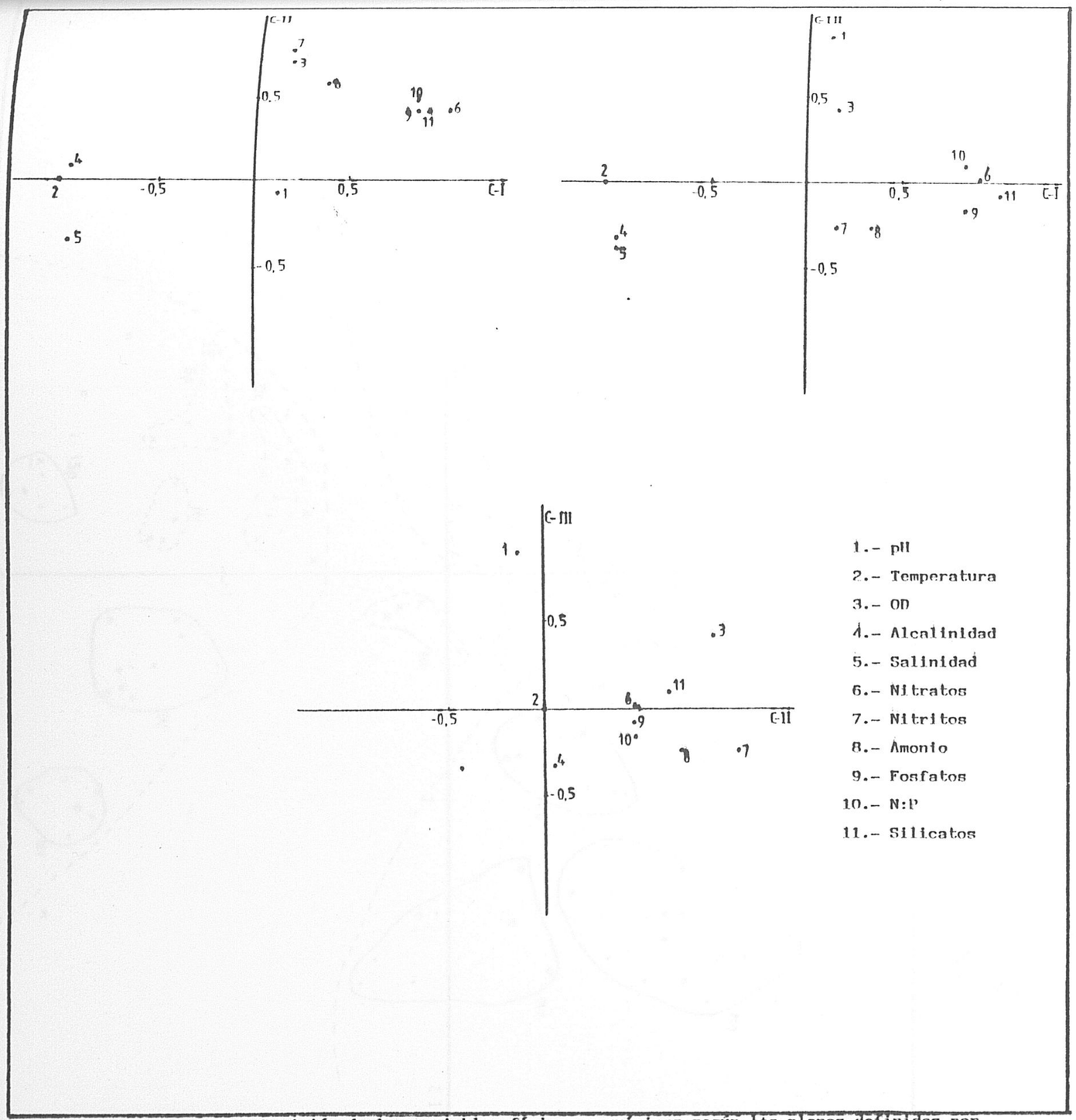


Figura 4.55.- Posición de las variables físicas y químicas según los planos definidos por CI y CII; CI y CIII; CII y CIII en el ACP realizado sobre las muestras de E-1

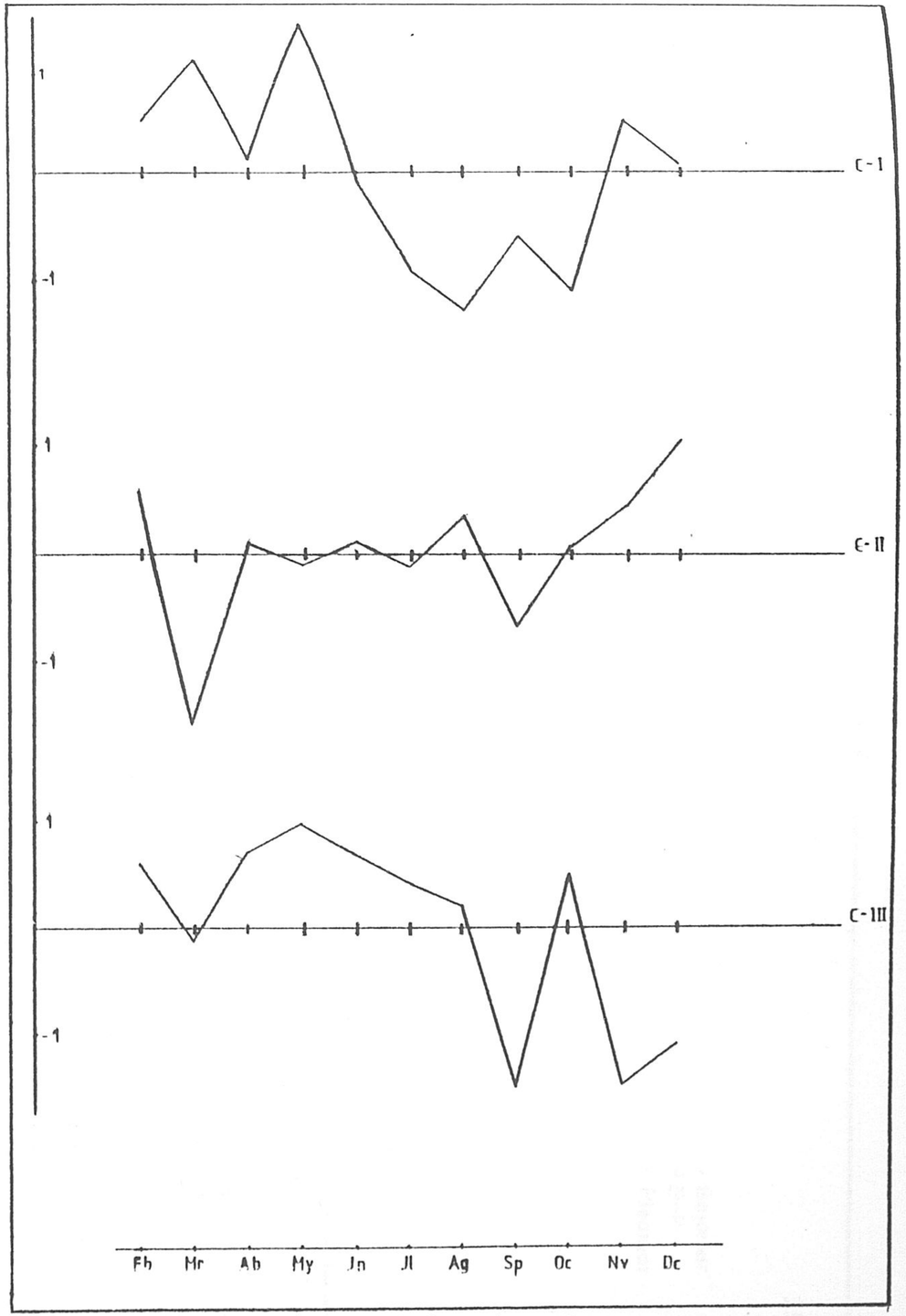


Figura 4.56.- Evolución temporal de los valores de saturación de los Componentes Principales en E-1 (Valores medios).

Figura 4.57.- Ubicación de las muestras en el plano definido por CI y CII en E-1.

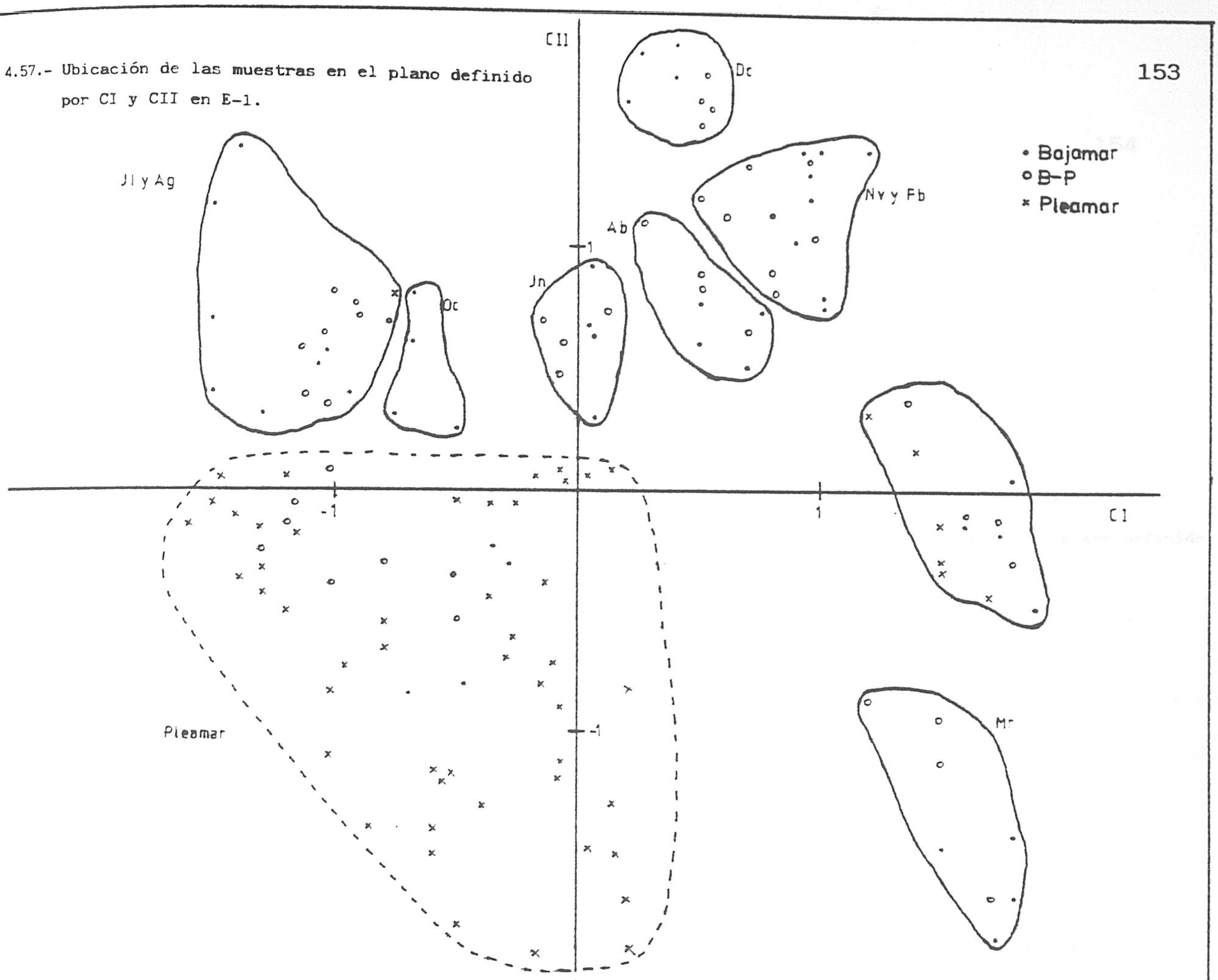
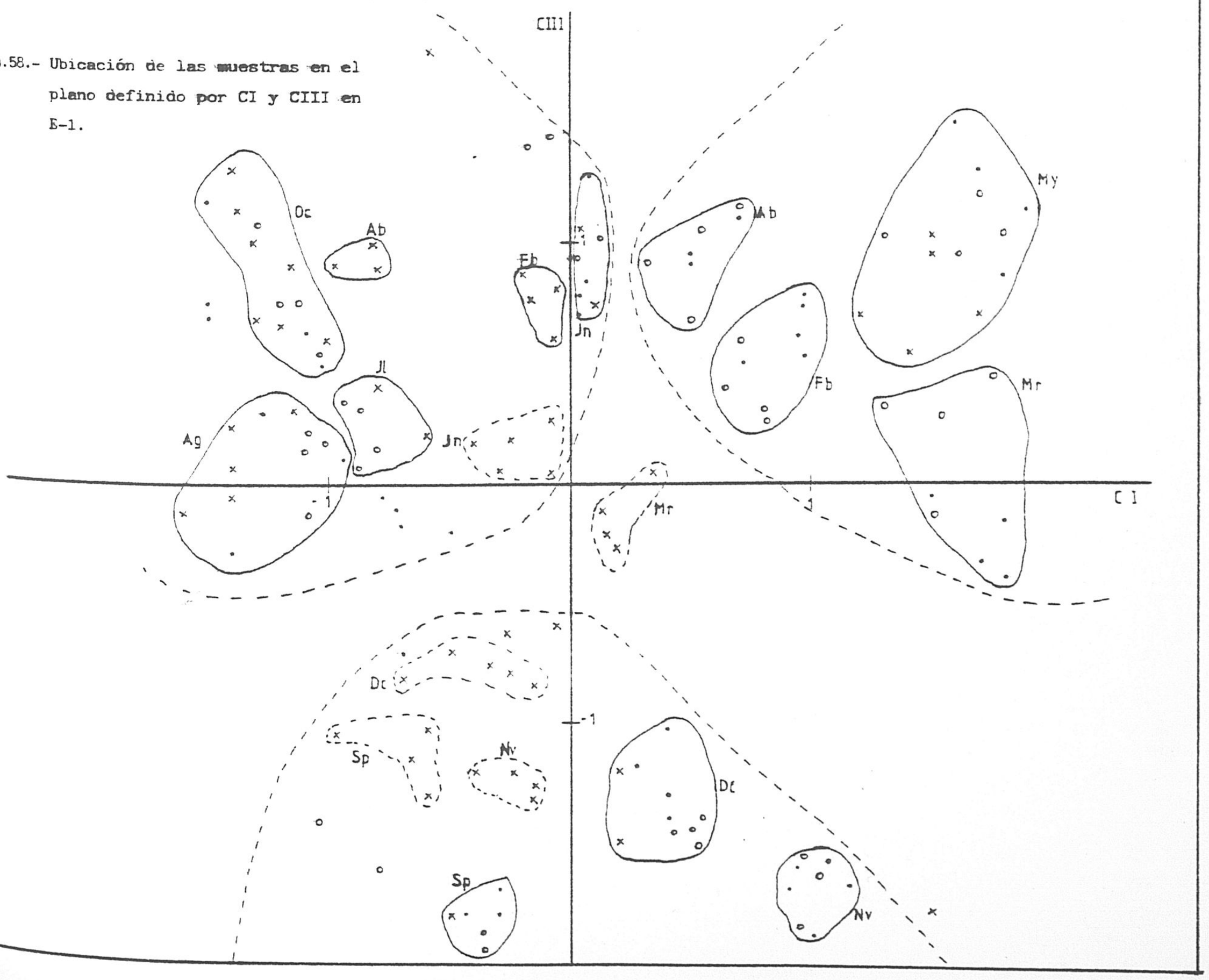


Figura 4.58.- Ubicación de las muestras en el plano definido por CI y CIII en E-1.



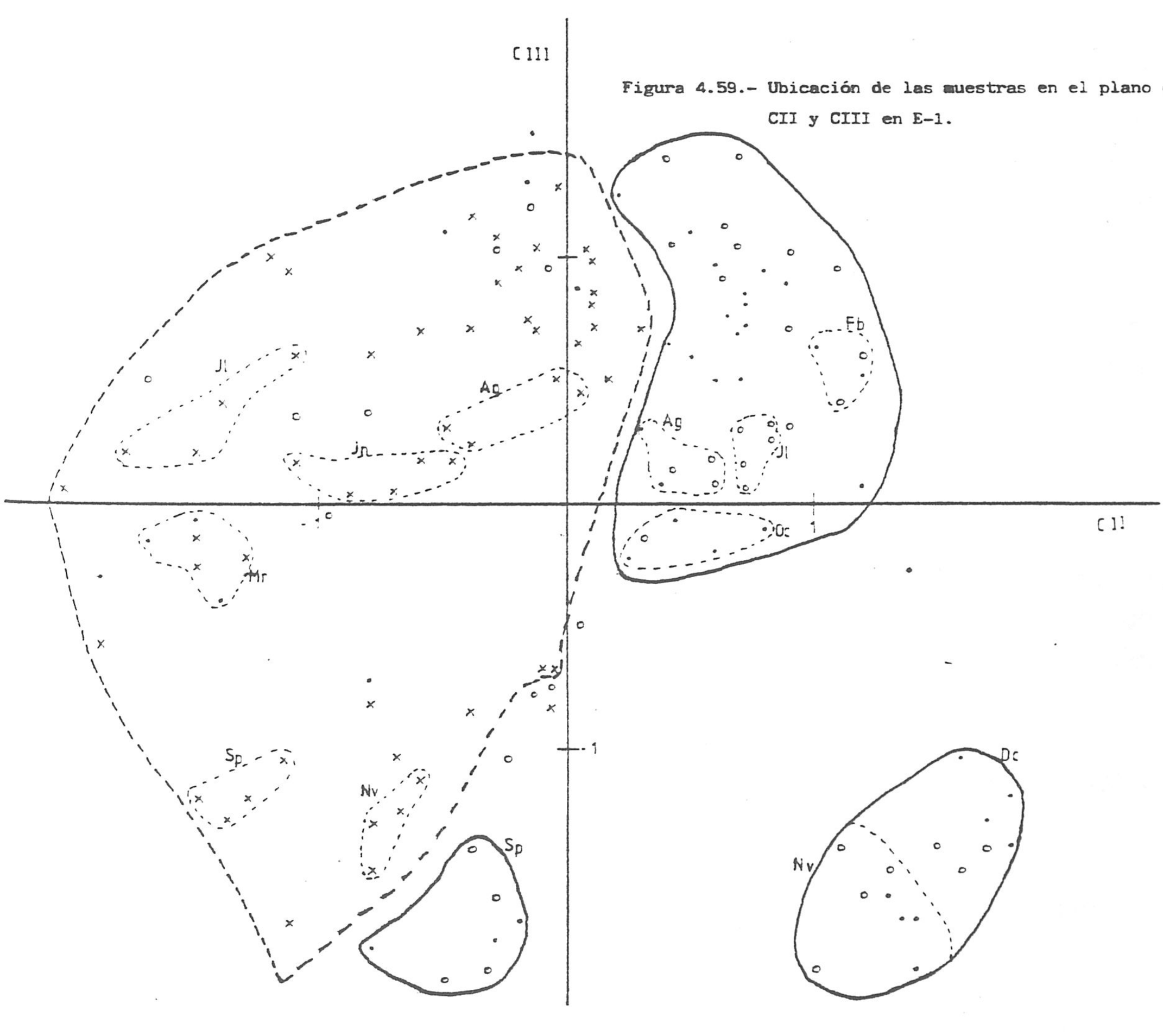


Figura 4.59.- Ubicación de las muestras en el plano definido CII y CIII en E-1.

con valores más bajos que las de bajamar respecto al componente I. En el primer cuadrante (valores positivos para CI y CIII) se situaron las muestras de febrero, marzo, abril, mayo y junio de bajamar (también las de pleamar de mayo). En el segundo cuadrante las de julio, agosto (bajamar y pleamar) junio, febrero abril (pleamar). Las muestras de septiembre, noviembre y diciembre se situaron en el tercer y cuarto cuadrante, en éstas hubo una disminución del pH, no hay que olvidar que después de la época de estiaje las primeras lluvias hicieron disminuir el pH.

Los componentes II y III, figura 4.59, nos situaron a las muestras según su acidez y su actividad nitrificante, de manera que aquéllas que fueron más básicas, presentaron menos oxígeno disuelto y mayor actividad nitrificante, se separaron de las más oxigenadas, más ácidas y con mayor actividad nitrificante.

Las muestras que presentaron valores negativos para el componente III, como después veremos (capítulo 5) fueron las de mayor eficiencia fotosintética.

4.9.3.4.- **Resumen**

Los resultados obtenidos en los cuatro análisis de componentes principales, realizados sobre los datos físicos y químicos, nos pusieron de manifiesto las mismas tendencias de variación en la ría a lo largo del periodo de muestreo:

I.- Influencia de los grandes medios que interaccionan (fluvial y nerítico) con sus diferentes características.

II.- Importancia de los procesos de nitrificación en el estuario.

III.- Influencia del pH.

Aunque estas tres tendencias gobernaron en la ría, los análisis presentaron ligeros matices en las estaciones relacionados con la posición de éstas respecto a los medios nerítico y fluvial. Nos movemos en un sistema cuya estructura es muy sensible a modificaciones debidas a entradas de fuentes externas de energía que modifican la estratificación y turbulencia.

La representación de las muestras en el plano de los componentes presentó diferencias dependiendo de la estación; así en la estación 1 fueron más importantes los cambios producidos a lo largo del ciclo mareal que a lo largo del ciclo anual, mientras que en las estaciones 2 y 3 presentaron más importancia estos últimos.

La saturación de la salinidad respecto al componente I varió según el eje longitudinal de la ría; en la estación 3 fue de 0.5; en la estación 2 de 0.68 y en la estación 1 de 0.8, figura 4.60. La estación 1 al estar más cercana a la costa está más influenciada por los cambios del agua marina de temperaturas menos oscilantes, por esto no aparece el ciclo anual de temperaturas en las muestras de pleamar, mientras que en las de bajamar si se ve una ligera tendencia a situarse las muestras según dicho ciclo anual (ver figura 4.57).

Por otra parte esta estación no presenta gradientes verticales debido a que su cercanía al mar hace que la mezcla sea lo suficientemente importante como para dar lugar a perfiles de densidad más verticales que en una estación no tan cercana como es la estación 3.

En la estación 3 aparecieron los perfiles típicos de la cabecera de estuarios (RIAUX y GRALL, 1982). En ésta los cambios que se producen en la salinidad de bajamar a pleamar son menores (por la mezcla) que los que se producen a lo largo del año, en los que influyen el caudal del rio, las condiciones meteorológicas y la amplitud de marea.

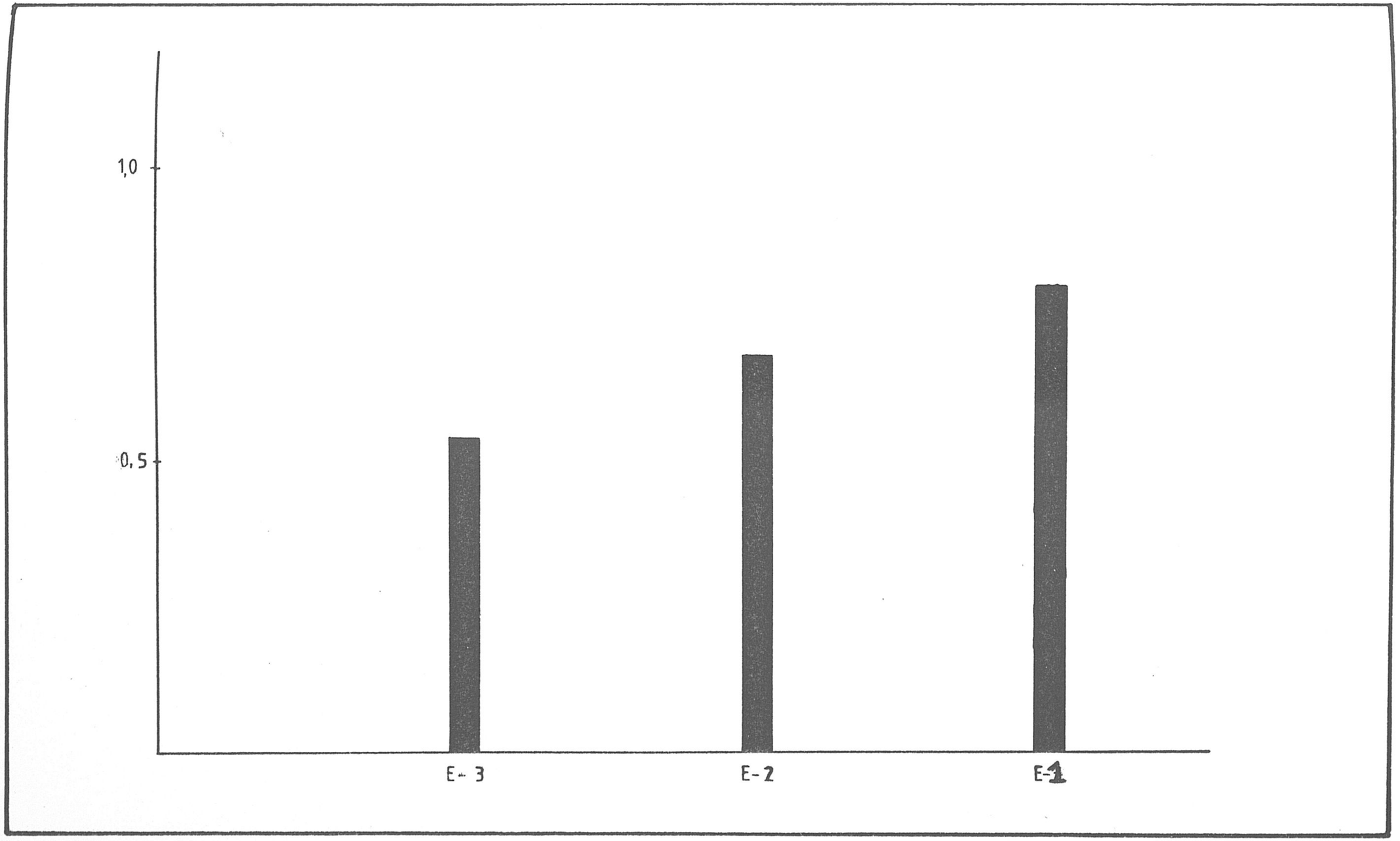


Figura 4.60.- Valores de saturación de la variable salinidad respecto al CI en cada una de las estaciones.

CAPITULO 5

ESTUDIO DEL FITOPLANCTON

5.- ESTUDIO DEL FITOPLANCTON

El estudio de la comunidad fitoplanctónica se centró en los siguientes aspectos:

a.- La evaluación de las poblaciones, expresadas en número o en biomasa de individuos de diferentes especies. Se hizo separadamente por recuento de organismos y análisis de clorofila a.

b.- La medida de la producción primaria.

c.- El cálculo de índices de la estructura de la comunidad, así como de su estado fisiológico y abundancia de ciertos grupos.

En este capítulo se presentan los resultados de cada una de las variables biológicas medidas. Estas variables (excepto la clorofila a) se midieron en los dos momentos de marea: bajamar y pleamar.

El tratamiento estadístico aplicado fue, como en el caso de los parámetros físicos y químicos: el análisis de la varianza jerarquizado con dos fuentes de variación (meses de muestreo, masas de agua) una de ellas anillada (bajamar y pleamar), para cada uno de los parámetros medidos. Análisis de correlación y el análisis multivariante de componentes principales.

Por último, teniendo en cuenta que los organismos vivos y su ambiente inerte (abiótico) están inseparablemente ligados y actúan recíprocamente entre sí (ODUM, 1972), realizamos un análisis de correlación entre las variables físicas, químicas y biológicas.

5.1.- DISTRIBUCIONES DE LAS ABUNDANCIAS TOTALES Y DE LOS GRANDES GRUPOS EN LA RIA DE MOGRO: FEBRERO A DICIEMBRE DE 1985

Los grandes grupos encontrados en la ría fueron Diatomeas y Dinoflageladas, aunque no hay que olvidar la presencia a lo largo de todo el año de organismos más pequeños, pertenecientes al nanoplancton y en ocasiones la dominancia de Criptofíceas y Euglenofíceas.

Se identificaron 239 especies de las cuales 164 fueron diatomeas y 56 dinoflageladas. Muchas de las especies citadas se presentaron con muy baja frecuencia.

En la Tabla 5.1 se da la lista de especies encontradas.

5.1.1.- Distribución de la abundancia total

La distribución de la abundancia total de células encontradas en la ría (figura 5.1) varió del modo siguiente:

Bajas concentraciones de células a finales de otoño e invierno, un ligero aumento en el mes de marzo (bloom de primavera); de nuevo disminución (abril y mayo) y el "bloom" veraniego propio de estuarios (LEVASSEUR, THERRIAULT Y LEGENDRE, 1984).

Las medias y coeficientes de dispersión para la biomasa total como número de células por ml se expresa en la Tabla 5.2.

La contribución de los grandes grupos a la biomasa total se muestra en la figura 5.2.

Las diatomeas dominaron a las dinoflageladas prácticamente durante todo el año; estas últimas sólo tuvieron importancia, en número, en el mes de junio (bajamar) y entre floraciones sucesivas (abril y octubre).

En el grupo "otras" se han incluido silicoflageladas, clorofíceas, euglenofíceas y critofíceas. Las euglenofíceas tuvieron importancia en los meses de julio y agosto (100 cel/ml). Las silicoflageladas, con pocos representantes, en las muestras de pleamar durante el verano.

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

Las critofíceas, estuvieron presentes prácticamente durante todo el año, y en mayor número en los meses de junio y de marzo.

El nanoplancton, en el que hemos incluído organismos inferiores a 12 µm, estuvo representado por pequeños flagelados desnudos. Este grupo se presentó durante todo el ciclo, llegando a representar más del 50% de la biomasa total en los meses de verano-principios de otoño.

5.1.2.- Ciclo anual

El estudio se llevó a cabo entre febrero y diciembre de 1985. Los contajes se realizaron en muestras de bajamar y de pleamar, de las tres estaciones y en todos los puntos.

En febrero, el número de células encontradas fue bajo en los dos estados de marea (100 cel/ml). Nos encontramos con diatomeas pequeñas: Navicula sp., Leptocylindrus minimus. Thalassionema una nitzschioides con especies de clara influencia fluvial: Asterionella formosa, Rhoicosphenia curvata.

En marzo aumentó la biomasa (bloom de primavera) con especies de Chaetoceros, Amphora hyalina, Cyclotella sp. Thalassionema nitzschoides, Rhoicosphenia curvata. En pleamar hay que destacar la aparición, aunque en pequeño número, de dinoflageladas como Prorocentrum micans (8 cel/ml) en la estación 3 y Prorocentrum gracile en la estación 1.

En abril de nuevo disminuyó el número de células (150 cel/ml), aunque la diversidad aumentó. Las especies encontradas fueron parecidas a las de febrero y marzo: Rhoicosphenia curvata, Leptocylindrus minimus. Amphora hyalina, Navicula sp., Coscinodiscus radiatus. Las dinoflageladas en la estación 2 llegaron a ser mayoritarias frente a las diatomeas (48% de dinoflageladas y 20% de diatomeas). Las especies presentes de dinoflageladas fueron Gymnodinium minus, Gymnodium sp.

En mayo se dio el mínimo de biomasa (95 cel/ml). Aparecieron especies de agua dulce: Asterionella formosa Closterium sp. Dynobrion sociale, Navicula sp. pequeñas diatomeas céntricas como Melosira roseana. En este mes se dieron las salinidades más bajas, tanto en bajamar como en pleamar.

En junio aumentó la biomasa, comenzó el bloom de verano. En bajamar la comunidad estuvo fuertemente dominada por Criptoficeas (Cryptomonas sp. 1, 2, 3). El número de dinoflageladas fue mayor que el de diatomeas, aparecieron grandes dinoflageladas como Gonyaulax tamarensis, Gymnodinium sp. En pleamar, hemos de destacar en el litoral B de la estación 3 y en todos los puntos de las estaciones 2 y 1, la aparición con valores muy altos () de una pequeña diatomea pennada Rhabdonema arcuatum y la ausencia de Cryptomonas sp. 1 en los puntos anteriormente citados. En este mes comenzaron a aparecer especies de Chaetoceros (Ch. socialis, Ch. lorenzianus).

En julio, en bajamar siguió dominando en toda la ria Rhabdonema arcuatum y apareció un gran número de Euglenofíceas (Eutreptiella sp. y Euglena sp.). Fueron también importantes Nitzschia closterium, Nitzschia delicatissima. Las dinoflageladas disminuyeron apareciendo sólo algunas células de la especie Gymnodinium minus. El nanoplancton fue muy importante en este mes (M = 25.540 cel/ml). En pleamar Rahbdonema arcuatum sólo se presentó y en bajas concentraciones (200 cel/ml) en la estación 3. En este estado de marea se encontraron Nitzschia closterium, N. delicatissima, N. seriata, Chaetoceros curvisetus, Ch. socialis, Ch. lorenzianus, Ch. willei, Rhizosolenia alata.

Estas especies tienen un gran potencial de multiplicación y escasas exigencias, pudiéndose duplicar y aún triplicar en 24 horas. En julio cayeron los niveles de nutrientes. En estas condiciones BIENFAG Y HARRISON (1984) establecieron que especies de pequeñas diatomeas, principalmente pennadas y especies de Chaetoceros están especialmente capacitadas para subsistir.

También aparecieron grandes dinoflageladas (aunque en número escaso) como Ceratium, lunula, C. furca C. contortum y Gymnodinium minus.

En agosto durante la bajamar, Eutreptiella sp. Euglena sp., Crytomonas sp. Nitzschia delicatissima, N. closterium, Chaetoceros socialis, Ch. curvisetus, Leptocylindrus minimus, Gymnodinium minus. En pleamar, N. delicatissima fue importante en la estación 3. En las estaciones 1 y 2 también estuvo presente pero en número menor. En estas estaciones apareció una pequeña dinoflagelada, Prorocentrum balticum; ésta no es probablemente una dinoflagelada tipica de aguas pobres, ya que sus características morfológicas: reducidas dimensiones y forma ovalada, no se relacionan con las de aquellas especies de aguas

pobres (células de gran tamaño, asimétricas, aplanadas y provistas de largas prolongaciones).

En septiembre, en bajamar, Cryptomonas sp., Euglena sp. y Eutreptiella sp. En pleamar Rhizosolenia stolterforthii, Bacteriastrum hyalinum, B. delicatulum, Corethron sp. Stephanophyis sp. son diatomeas grandes, morfológicamente están provistas de largas sedas que permiten un aumento de la flotabilidad.

En octubre comenzaron a aumentar los nutrientes. Nos encontramos con Thalassiosira gravida, Prorocentrum balticum, Gymnodinium minus, Skeletonema costatum.

En noviembre disminuyó el número de individuos (350 cel/ml). De nuevo nos encontramos con especies de agua dulce como Scenedesmus sp. Closterium sp., Cianoficeas (Anabaena sp.). También estuvo presente Rhabdonema arcuatum.

En diciembre comenzaron a aparecer diatomeas grandes como Biddulphia mobilensis, B. rhombus, B. regia, Nitzschia longissima.

Realizamos el análisis de la varianza con la transformación logarítmica (log(x+1)) siendo x el número de células por ml o abundancia. Los resultados se expresan en la Tabla 5.3.

Dicho análisis reveló la homogeneidad de medias entre las masas de agua de las tres estaciones de la ría (figura 5.3.a).

El ciclo mareal presentó diferencias significativas al 95%, entre las medias de bajamar y las de pleamar. Se observó que la abundancia fue mayor cuanto más baja estuvo la marea (figura 5.3.b).

El ciclo anual presentó en las tres estaciones diferencias, sin embargo no apareció un patrón de homogeneidad en las tres estaciones y las diferencias entre meses no siempre fueron las mismas (figura 5.3.c). Los meses que presentaron mayor número de células fueron los de verano-principios de otoño. Seguidos de marzo y noviembre y por último los de invierno y finales de primavera.

Tabla.5.1.- CATALOGO FLORISTICO

A continuación se refieren alfabéticamente los taxones identificados en el curso de este estudio. Las Clases y las Familias se han ordenado siguiendo a SILVA (1980). En total el número de especies identificadas alcanza las 239, predominando las Diatomeas (164 taxones) seguidas de los Dinoflageladas (56) y especies aisladas del resto de los grupos.

CRYTOPHYCEAE Fritsch in G.S.West et Fritsch 1927

CRYPTOMONADACEAE Ehrenberg 1831

Cryptomonas Ehrenberg 1838

Cryptomonas sp.

CYANOPHYCEAE Schaffuer 1909

NOSTOCACEAE Eichler 1886

Anabaena Bory 1822

Anabaena sp.

CHLOROPHYCEAE A. Wille in Warming 1884

SCENEDEMACEAE Oltmanns 1904

Scenedesmus Meyen 1829

Scenedesmus sp.

CHRYSOPHYCEAE Fritsch in G.A. West et Fritsch 1927

DINOBRYACEAE Ehrenberg 1834

Dinobryon Ehrenberg 1833

Dinobryon sociale Ehrenberg 1834

DIATOMOPHYCEAE Rabenhorst 1864

ACHNANTHACEAE Kutzing 1844

Achnanthes Bory 1822

Achnant hes brevipes C. Agardh 1824

Achnanthes longipes C. Agardh 1824

Achnanthes sp.

Cocconeis Ehrenberg 1838

Cocconeis sp.

BACILLARIACEAE Ehrenberg 1831 = NITZSCHIACEAE

Bacillaria Gmetin in Linnaeus 1788

Bacillaria paxillifer (O. F. Muller) Hendey 1951

Hantzschia Grunow 1877

Hantzschia marina (Donkin) Grunow 1877

Hantzschia virgata (Roper) Grunow 1877

Nitzschia Hassall 1845

Nitzschia acicularis (Kützing) Wm. Smith 1853 var. closteriodes Grunow 1862

Nitzschia closterium (Ehrenberg) Wm. Smith 1853

Nitzschia delicatissima Cleve 1897

Nitzschia longissima (Brébisson ex Kützing) Grunow 1862

Nitzschia obtusa Wm. Smith 1853

Nitzschia plana Wm. Smith 1853

Nitzschia pungens Grunow ex Cleve 1897

Nitzschia seriata Cleve 1883

Nitzschia sp.

BIDDULPHIACEAE Kutzing 1844

Biddulphia Gray 1821

Biddulphia alternans (J.W. Bailey) Van Heurck 1883

Biddulphia aurita (Lyngbge) Brébisson 1838

Biddulphia mobiliensis (J.W. Bailey) Grunow in Van Herrk 1882

Biddulphia regia (Schültze) Ostenfeldt 1908

Biddulphia rombus (Ehrenberg) W. Smith 1856

Biddulphia sinensis Greville 1866

Biddulphia sp.

Cerataulina H. Peragallo 1892

Cerataulina sp.

Eucampia Ehrenberg 1839

Eucampia zodiacus Ehrenberg 1839

Hemiaulus Heiberg 1863

Hemiaulus membranaceus Cleve 1873

Isthmia C. Agardh 1832

Isthmia enervis Ehrenberg 1838

COSCINODISCACEAE Kutzing 1844

Coscinodiscus Ehrenberg 1838

Coscinodiscus nodulifer A. Schmidt 1878

Coscinodiscus radiatus Ehrenberg 1840

Coscinodiscus spp.

CYMBELLACEAE Greville 1833

Cymbella C. Agardh 1830

Cymbella lacustris (C. Agardh) Cleve 1894

CHAETOCEROTACEAE Ralfs in Pritchard 1861

Bacteriastrum Schadbolt 1854

Bacteriastrum delicatulum Cleve 1897

Bacteriastrum hyalinum Lauder 1864

Chaetoceros Ehrenberg 1844

Chaetoceros affinis Lauder 1864

Chaetoceros atlanticus Cleve 1873

Chaetoceros brevis Schütt 1895

Chaetoceros compressus Lauder 1864

Chaetoceros curvisetus Cleve 1889

Chaetoceros danicus Cleve 1889

Chaetoceros debilis Cleve 1894

Chaetoceros didymus Ehrenberg 1845

Chaetoceros lorenzianus Grunow 1863

Chaetoceros socialis Lauder 1864

Chaetoceros subtilis Cleve 1896

Chaetoceros tortissimus Gran 1900

Chaetoceros willei Gran 1897

Chaetoceros sp.

DIATOMACEAE = FRAGILARIACEAE Greville 1833

Asterionella Hassall 1850

Asterionella formosa Hassall 1850

Asterionella glacialis Castracane 1886

Diatoma Bory 1824

Diatoma anceps (Ehrenberg) Kirchner 1878

Diatoma vulgare Bory 1824

Diatoma sp.

Fragilaria Lyngbye 1819

Fragilaria capucina Desmaziéres 1825

Fragilaria crotonensis Kitton 1869

Fragilaria virescens Ralfs 1843

Fragilaria sp.

Grammatophora Ehrenberg 1840

Grammatophora marina (Lyngbye) Kützing 1844

Grammatophora serpentina Ehrenberg 1844

Licmophora C. Agardh 1827

Licmophora flabellata (Greville) C. Agardh 1831

Licmophora sp.

Podocystis J. W. Bailey 1854

Podocystis sp.

Rhabdonema Kützing 1844

Rhabdonema arcuatum (Lyngbye in Homeman) Kützing 1844

Rhabdonema sp.

Synedra Ehrenberg 1830

Synedra undulata (J.W. Bailey) N.W.Smith 1856

Synedra sp.

Striatella C. Agardh 1832

Striatella sp.

Tabellaria Ehrenberg ex Kützing 1844

Tabellaria flocculosa (Roth) Kützing 1844

Thalassionema Grunow ex Hustedt 1832

Thalassionema nitzschioides (Grunow) Grunow ex Hustedt1832

Thalassionema sp.

Thalassiothrix Cleve et Grunow 1880

Thalassiothrix frauenfeldii (Grunow) Grunow in Cleve et Grunow 1880

Thalassiothrix sp.

EPITHEMIACEAE Grunow 1860

Epithemia Brébisson ex Kützing 1844

Epithemia sp.

EUNOTIACEAE Kützing 1844

Eunotia Ehrenberg 1837

Eunotia asterionelloides Hustedt 1952

Eunotia robusta Ralfs=E. Serra Ehrenberg 1837

EUPODISCACEAE Ralfs in Pritchard 1861=HEMIDISCACEAE

Hemidiscus G.S. Wallich 1860

Hemidiscus sp.

Triceratium Ehrenberg 1839

Triceratium favus Ehrenberg 1840

Triceratium formosum Brightwell 1856

HELIOPELTACEAE H. L. Smith 1872

Actinoptychus Ehrenberg 1841

Actinoptychus senarius (Ehrenberg) Ehrenberg 1843

LITHODESMIACEAE H. et M. Peraballo 1897-1908(1)

Bellerochea Van Hewrck 1885

Bellerochea horologicalis Von Stosch

MELOSIRACEAE Kützing 1844

Centronella Voigt 1902

Centronella reichelti Voigt 1902

Centronella sp.

Corethron Castracane 1886

Corethron sp.

Leptocylindrus Cleve 1889

Leptocylindrus danicus Cleve 1889

Leptocylindrus minimus Gran 1915

Leptocylindrus sp.

Melosira C. Agardh 1824

Melosira arenaria Moore ex Ralfs 1843

Melosira granulata (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard 1861

Melosira nummuloides C. Agardh 1824

Melosira roeseana Rabenhorst 1853

Melosira sp.

Paralia Heiberg 1863

Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve 1873

Stephanopyxis Ehrenberg 1845

Stephanopyxis palmeriana (Greville) Grunow 1884

NAVICULACEAE Kützing 1844

Amphiprora Kützing 1844

Amphiprora alata (Ehrenberg) Kützing 1844

Amphiprora surirelloides Hendey 1951

Amphiprora sp.

(1) SILVA no menciona esta familia HARTEY (1986) si.

Amphora Ehrenberg ex Kützing 1844

Amphora exigua Gregory 1857

Amphora graeffei Cleve 1896 var. minor H. Peragallo 1897 1908

Amphora hyalina Kützing 1844

Amphora ostrearia Brébisson ex Kützing 1849

Amphora sp.

Anomoeoneis Pfitzer 1871

Anomoeoneis sculpta (Ehrenberg) Cleave 1895

Brebissonia Grunow 1860

Brebissonia boeckii (Ehrenberg) Grunow 1860

Caloneis Cleve 1894

Caloneis subsalina (Donkin) Hendey 1951

Caloneis sp.

Didymosphenia M. Schmidt in A. Schmidt 1899

Didymosphenia geminata (Lyngbye) M. Schmidt in A. Schmidt 1899

Didymosphenia sp.

Diploneis Ehrenberg ex Cleve 1894

Diploneis bombus (Ehrenberg) Ehrenberg ex Cleve 1894

Diploneis crabro(Ehrenberg) Ehrenberg ex Cleve 1894

Diploneis didyma (Ehrenberg) Cleve 1894

Diploneis vetula (A. Schmidt) Cleve 1894

Gomphonema Ehrenberg 1832

Gomphonema intricatum Kützing 1844

Gomphonema constrictum Ehrenberg ex kützing 1844

Gyrosigma Hassall 1845

Gyrosigma sp.

Navicula Bory 1822

Navicula acuminata (Wm. Smith) Grunow =Gyrosigma acuminatum (Kützing) Rabenhorst 1853

Navicula arenaria Donkin 1861

Navicula clavata Gregory 1856

Navicula cuspidata (Kûtzing) Kützing 1844 var. halophila Grunow ex van Heurck 1880-1885

Navicula humerosa Brébisson ex Wm. Smith 1856
Navicula latissima Gregory 1856
Navicula lyroides Hendey 1858
Navicula monilifera Cleve 1896
Navicula palpebralis Brébisson ex Wm. Smith 1853
Navicula planamembranacea Hendey 1964
Navicula rhombica Gregory 1855
Navicula salinarum Grunow in Cleve et Grunow 1880
Navicula scopulorum Brébisson ex Kützing 1849
Navicula spp.

Okedenia Enlenstein ex de Toni 1891
Okedenia inflexa (Brébisson ex Kützing)Enlenstein ex de Toni 1891

Pleurosigma Wm. Smith 1852
Pleurosigma angulatum(Quekett) Wm. Smith 1852
Pleurosigma sp.

Pinnularia Ehrenberg 1843
Pinnularia ambigua Cleve 1896
Pinnularia spp.

Rhoicosphenia Grunow 1860
Rhoicosphenia curvata (Kützing) Grunow 1860
Rhoicosphenia sp

Stauroneis Ehrenberg 1843
Stauroneis membranacea (Cleve) F.W.Mills 1934
Stauroneis sp.

Tropidoneis Cleve 1891
Tropidoneis vitrea (Wm. Smith) Cleve 1894

PLANKTONIELLACEAE (Schütt) Lemmermann 1899=THALASSIOSIRACEAE
Cyclotella (Kützing) Brébisson 1838
Cyclotella bodanica Eulenstein in Grunow 1878
Cyclotella comta Ehrenberg Kützing 1849
Cyclotella sp.

Porosira Jørgensen 1905
Porosira glacialis(Grunow) Jørgensen 1905

Skeletonema Greville 1865
Skeletonema costatum (Greville) Cleve 1873

Skeletonema sp.

Thalassiosira Cleve 1873

Thalassiosira gravida Cleve 1896

RHIZOSOLENIACEAE de Toni 1890

Guinardia H. Peragallo 1892

Guinardia flaccida (Castracane) H. Peragallo 1892

Rhizosolenia Brightwell 1858

Rhizosolenia alata Brightwell 1858

Rhizosolenia delicatula Cleve 1898

Rhizosolenia hebetata J.W. Bailey 1856

Rhizosolenia setigera Brightwell 1858

Rhizosolenia stolterforthii H. Peragallo 1888

Rhizosolenia styliformis Brightwell 1858

Rhizosolenia sp.

SURIRELLACEAE Kützing 1844

Campylodiscus Ehrenberg ex kützing 1844

Campylodiscus fastuosus Ehrenberg 1845

Surirella Turpin 1828

Surirrella fastuosa Ehrenberg 1840

Surirrella ovata Kützing 1844

Surirrella salina Wm. Smith 1851

Surirrella smithii Ralfs in Pritchard 1861

Surirrella sp.

DICTYOCHOPHYCEAE Silva 1980

DISTEPHANACEAE Locker 1974

Distephanus Stöhr 1880

Distephanus speculum (Ehrenberg) Haeckel 1889

DINOPHYCEAE Fritsch in B. S. West et Fritsch 1927

CERATIACEAE Kofoid 1907

Ceratium Schrank 1793

Ceratium azoricum Cleve 1900

Ceratium candelabrum (Ehrenberg) Stein 1883

Ceratium fusus (Ehrenberg) Dujardin 1841

Ceratium furca (Ehrenberg) Claparéde et Lachmann 1858

Ceratium horridum (Cleve) Gran 1902

Ceratium hexacanthum Gourret 1883
Ceratium lineatum (Ehrenberg) Cleve 1899
Ceratium lunula (Schimper ex Karsten) Jörgensen
Ceratium trichoceros (Ehrenberg) Kofoid 1840
Ceratium vultur Cleve
Ceratium sp.

DINOPHYSIACEAE Bütschli 1885

Dinophysis Ehrenberg 1840
Dinophysis acuminata Claparéde et Lachmam 1895
Dinophysis acuta Ehrenberg 1840
Dinophysis caudataSaviller-Kent 1950
Dinophysis ovum Schütt 1895
Dinophysis punctata Jørgensen 1923

GONYAULACACEAE Lindeman 1928

Gonyaulax Diering 1866
Gonyaulax polyedra Stein 1883
Gonyaulax tamarensis Lebour 1925

GYMNODINIACEAE Laukester 1885

Amphidinium Claparede et Lachman 1859
Amphidinium crassum Lohmann 1908

Gynmodinium Stein 1878
Gymnodinium filum Lebour 1917
Gymnodinium minus Lebour 1917
Gymnodinium simplex (Lohmann) Kofoid et Swezy 1921
Gymnodinium sp.

Gyrodinium Kofoid et Szewy 1921
Gyrodinium falcatum Kofoid et Swezy 1921
Gyrodinium glaucum (Lebour) Kofoid et Swezy 1921
Gyrodinium obtusum (Schütt) Kofoid et Swezy 1921
Gyrodinium pepo (Schütt) Kofoid et Swezy 1921
Gyrodinium sp.

LOPHODINIACEAE Osorio Tafall 1942

Herdmania Dodge 1981
Herdmania litoralis Dodge 1981

Katodinium Fott 1957
Katodinium rotundatum (Lohmann) Loeblich 1965

OXYTOXACEAE Lindeman 1928

Oxytoxum Stein 1883

Oxytoxum scolopax Stein 1883

Oxytoxum sp.

PERIDINIACEAE Ehrenberg 1831

Diplopsalis Bergh 1882

Diplopsalis lentiluca Bergh 1882

Glenodinium Ehrenberg 1837

Glenodinium sp.

Protoperidinium Bergh 1882

Protoperidinium bipes (Paulsen) Balech 1974

Protoperidinium cerasus (Paulsen) Balech 1973

Protoperidinium claudicans (Paulsen)Balech 1974

Protoperidinium denticulatum (Gran&Braarud) Balech 1974

Protoperidinium excentricum (Paulsen) Balech 1974

Protoperidinium granii (Ostenfeld) Balech 1974

Protoperidinium minutum (Kofoid) Loeblich III 1969

Protoperidinium oblongum (Aurivillius) Parde et Dodge1976

Protoperidinium sp.

Scripssiella Balech 1959

Scripssiella trochoidea (Stein) Loeblich III 1976

PROROCENTRACEAE Stein 1883

Prorocentrum Ehrenberg 1833

Prorocentrum balticum (Lohmann) Loeblich 1970

Prorocentrum compressum (Bailey) Abé ex Dodge 1975

Prorocentrum gracile Schütt 1895

Prorocentrum lima (Ehrenberg) Dodge 1975

Prorocentrum micans Ehrenberg 1833

Prorocentrum triestinum Schiller 1918

Prorocentrum sp.

PRONOCTILUCACEAE=PROTODINIFERACEAE Kofoid et Swezy 1921

Oxyrris Dujard in 1841

Oxyrrhis marina Dujardin 1841

PYROCYSTACEAE (Schütt) Lemmermann 1899

Pyrocystis Murray ex Hoeckel 1890

Pyrocystis noctiluca Murray ex Haeckel 1890

PYROPHACACEAE Lindenam 1928

Pyrophacus Stein 1883

Pyrophacus horologium Stein 1883

Pyrophacus steinii (Schiller) Wall& Dale

EUGLENOPHYCEAE Schoenichen 1925

EUGLENACEAE H.J. Carter 1859

Euglena Ehrenberg 1830

Euglena sp.

EUTREPTIACEAE Hollande 1942

Eutreptiella da Cunha 1914

Eutreptiella sp.

ZYGOPHYCEAE Widder 1960

CLOSTERIACEAE Bessey 1907

Closterium Nitzsch 1817

Closterium sp.

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

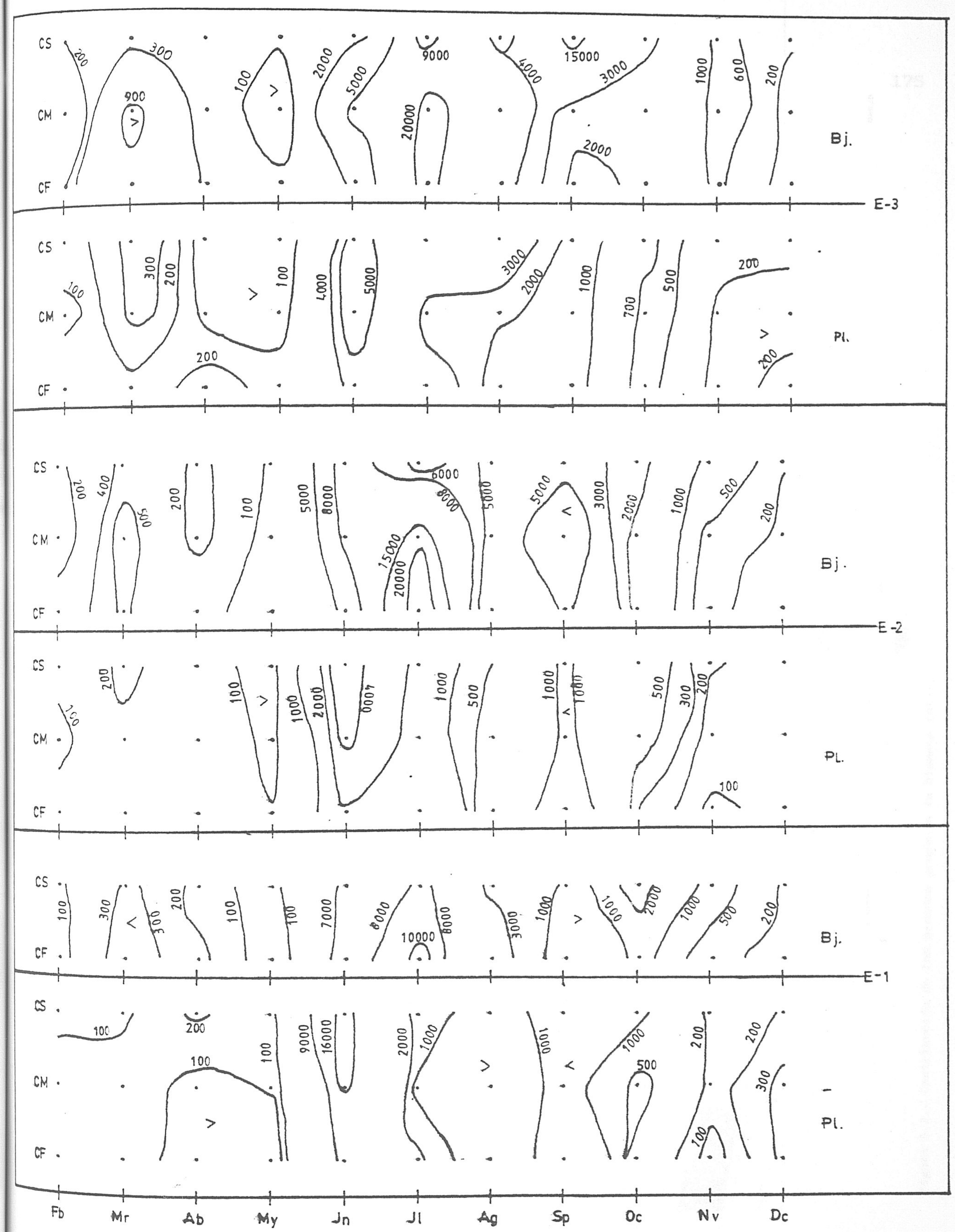
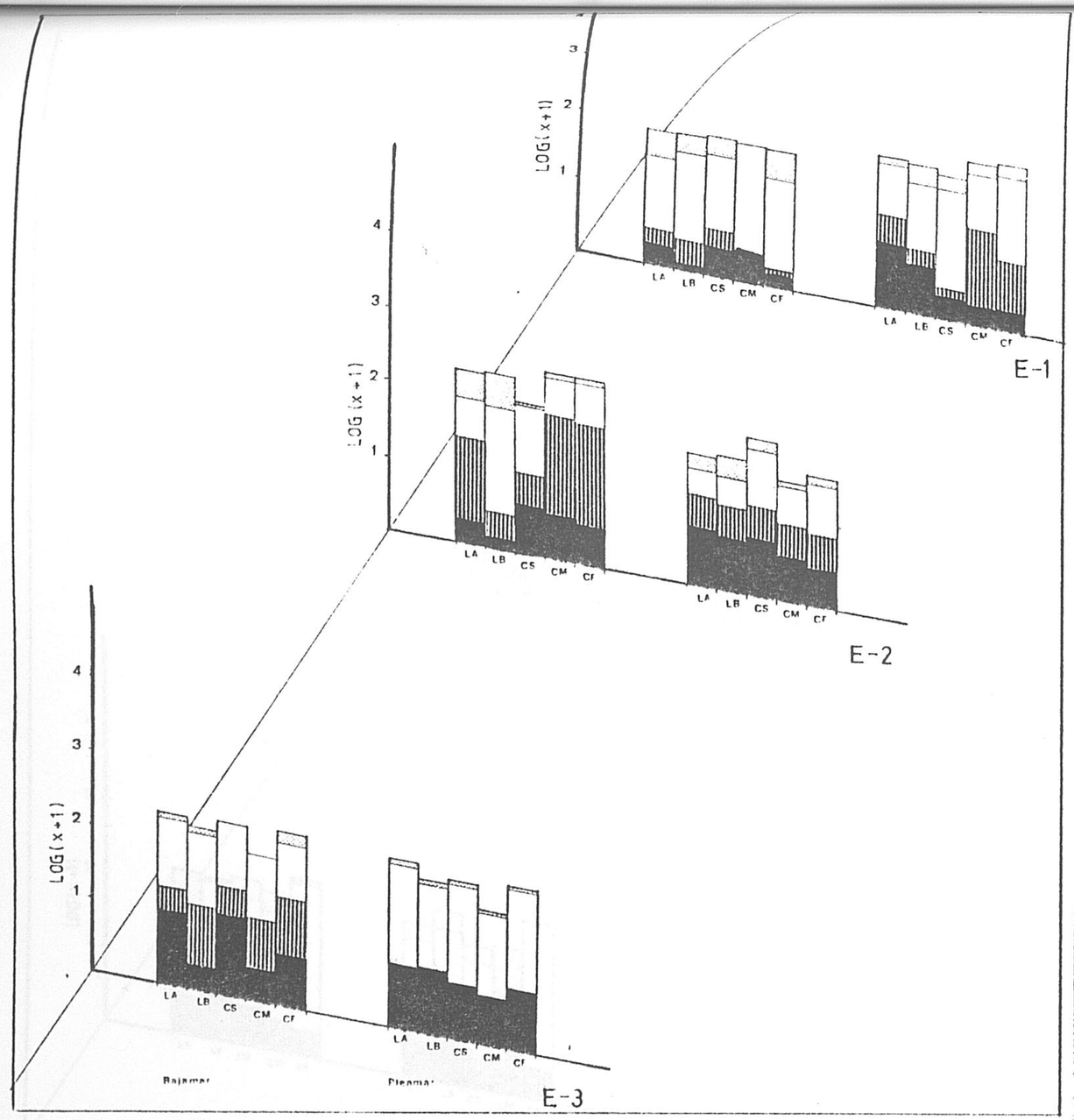
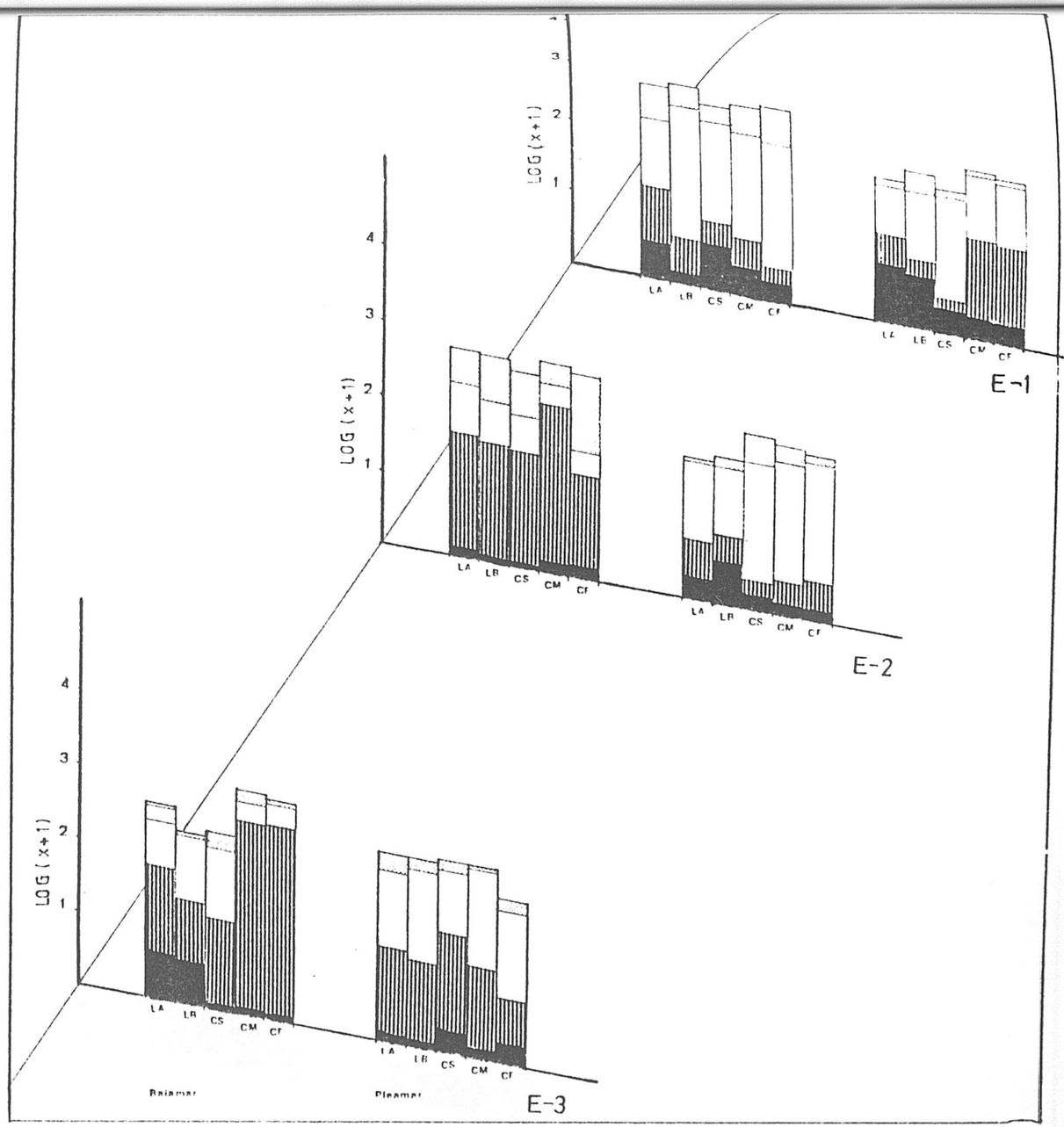


Figura 5.1.- Distribución temporal de la abundancia (cel/ml) en las tres estaciones de muestreo y en los dos momentos de marea (Bj.= Bajamar; Pl.= Pleamar).



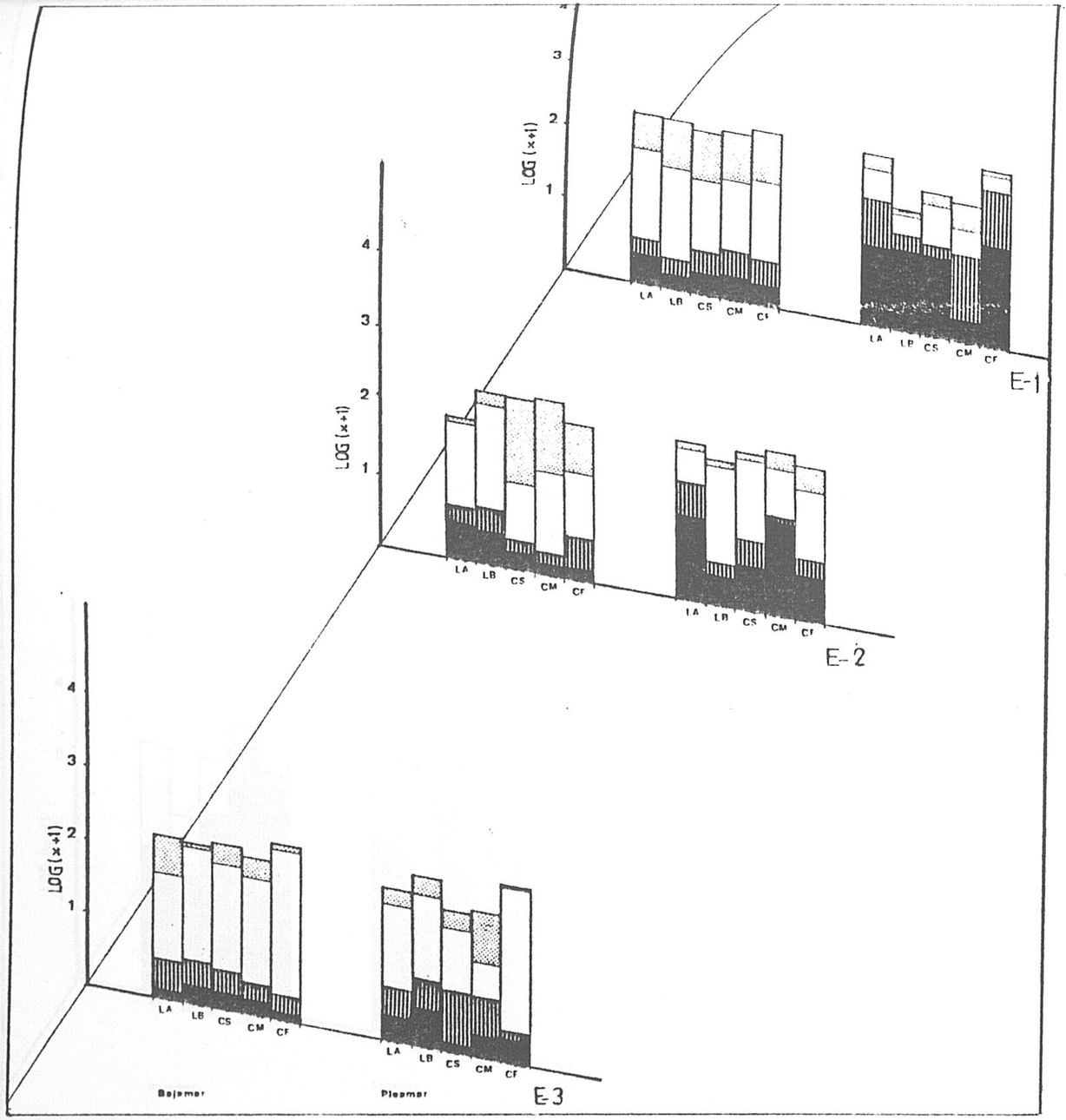


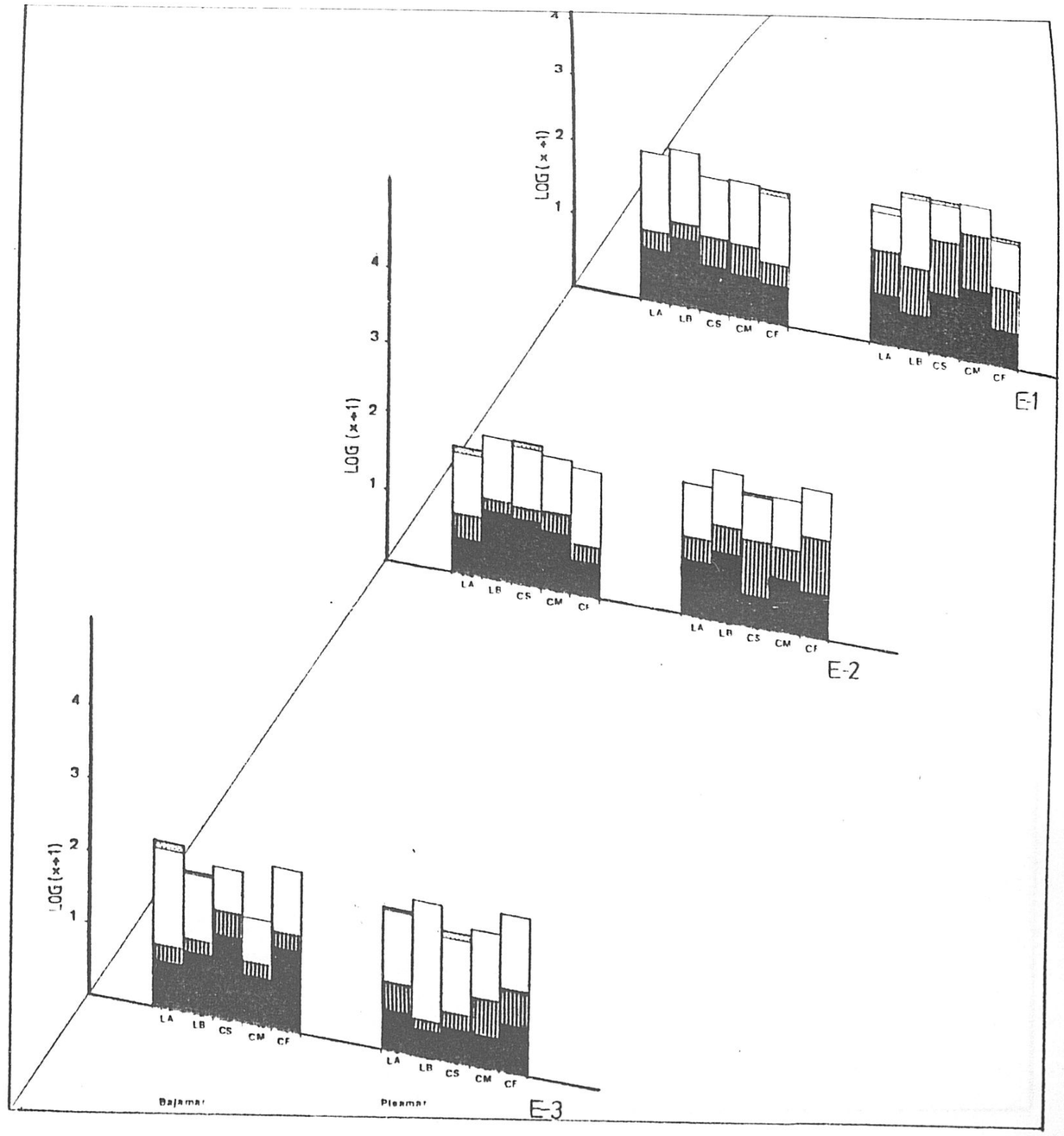
Nanoplacton
Diatomeas
Dinoflagelados
Otros

FEBRERO

MARZO

Figura 5.2.- Contribución de los grandes grupos a la biomasa total.



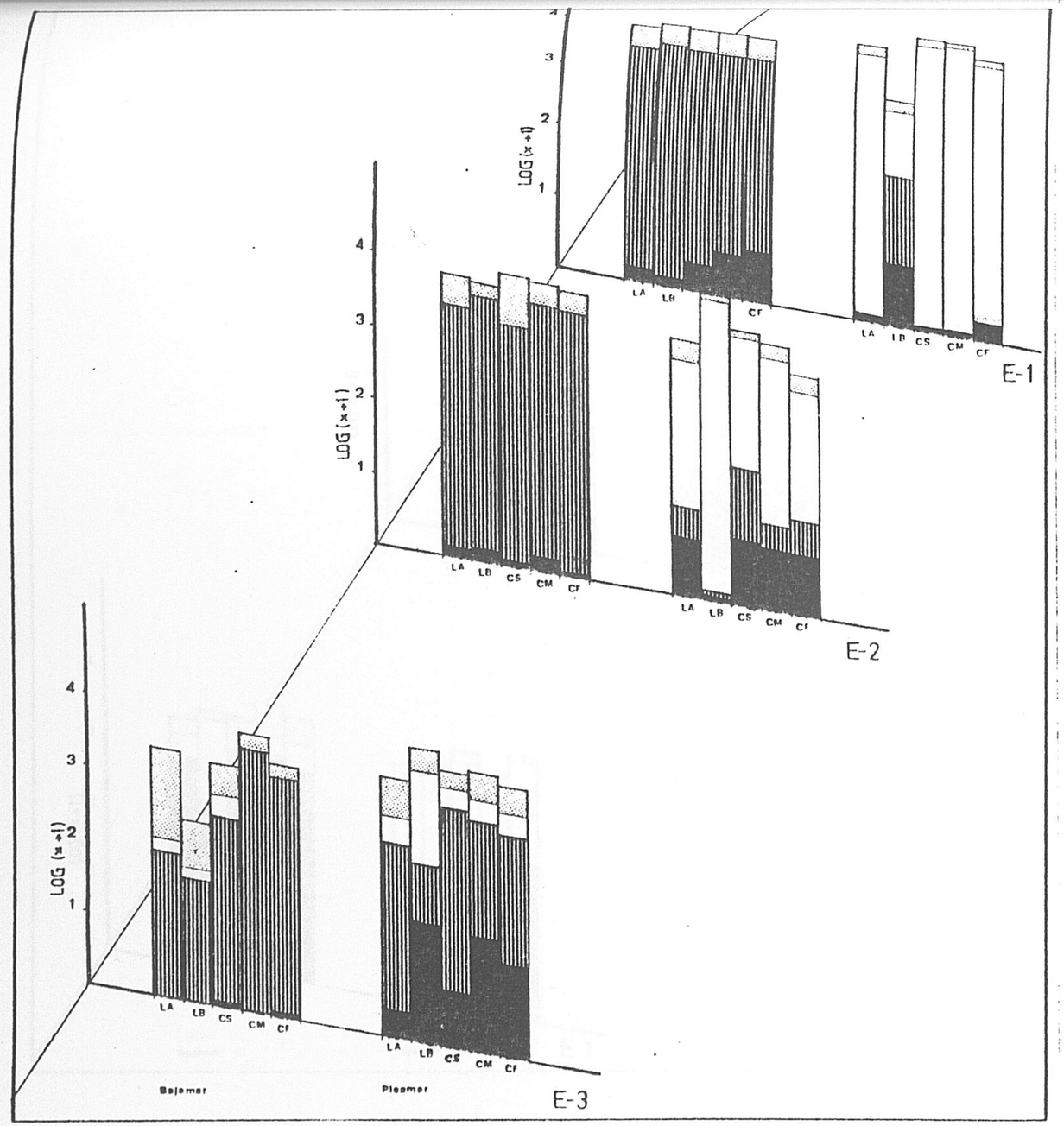


ABRIL

MAYO

Nanoplacton
Diatomeas
Dinoflagelados
Otros

Figura 5.2.- Continuación.



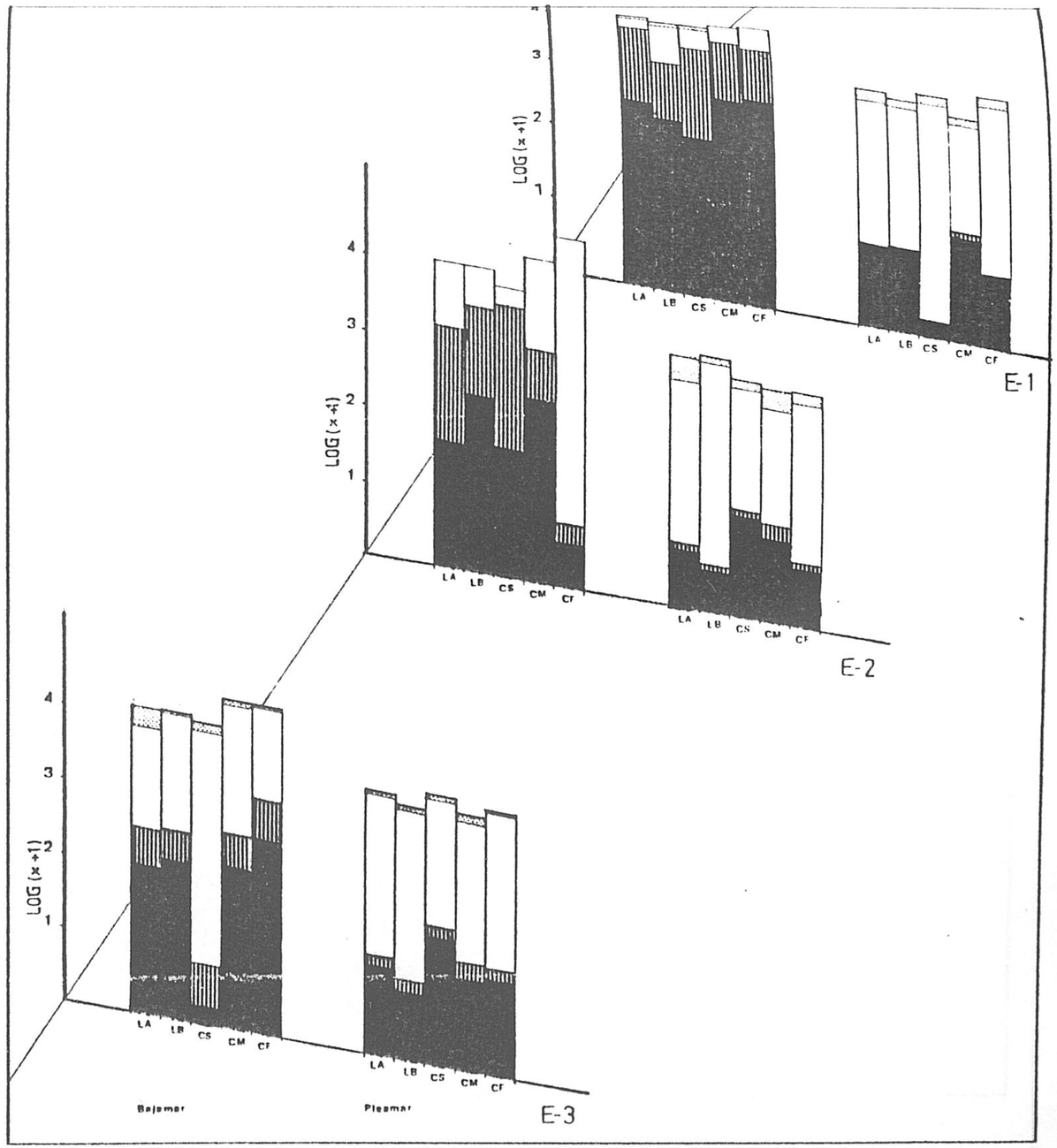
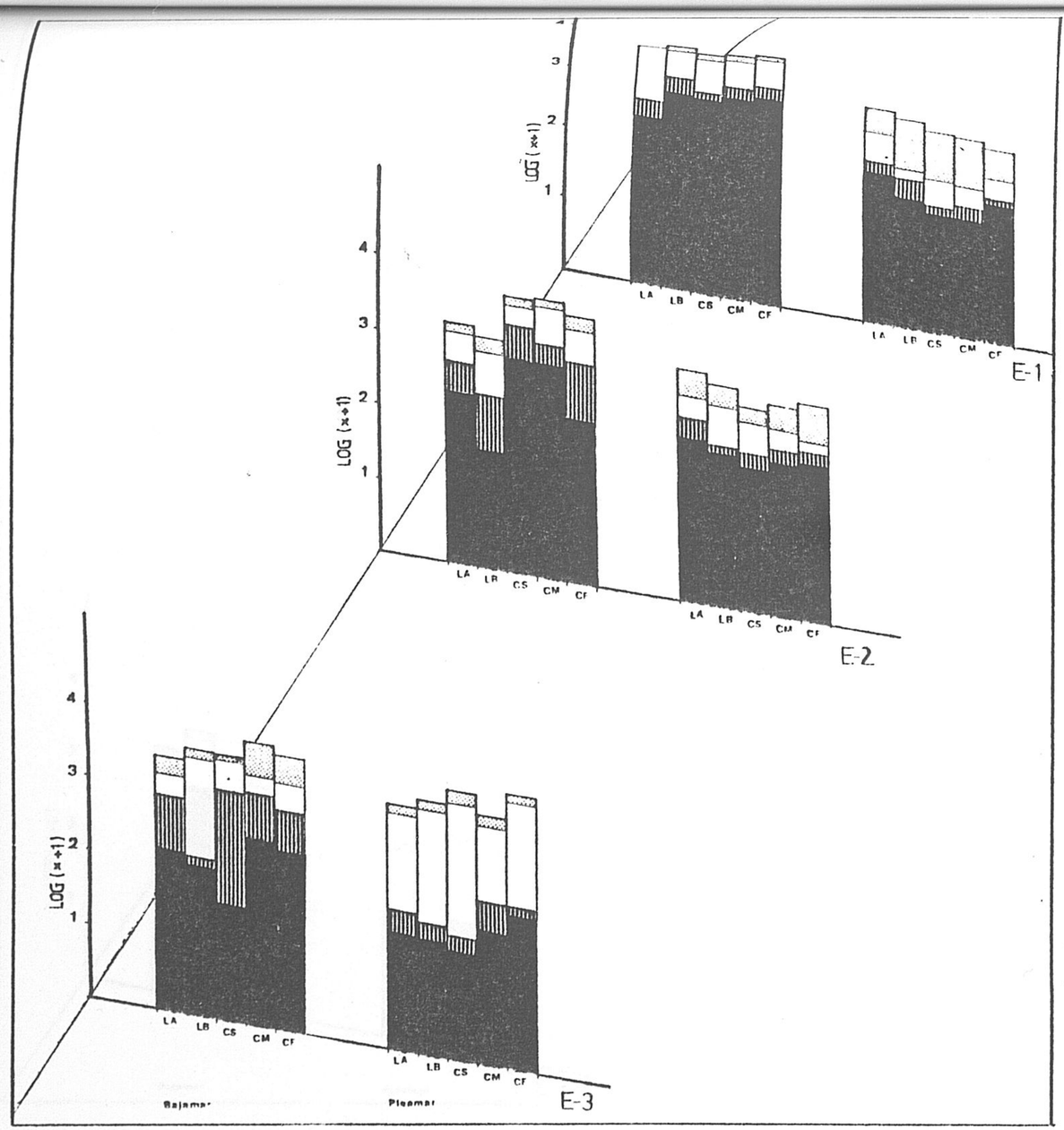
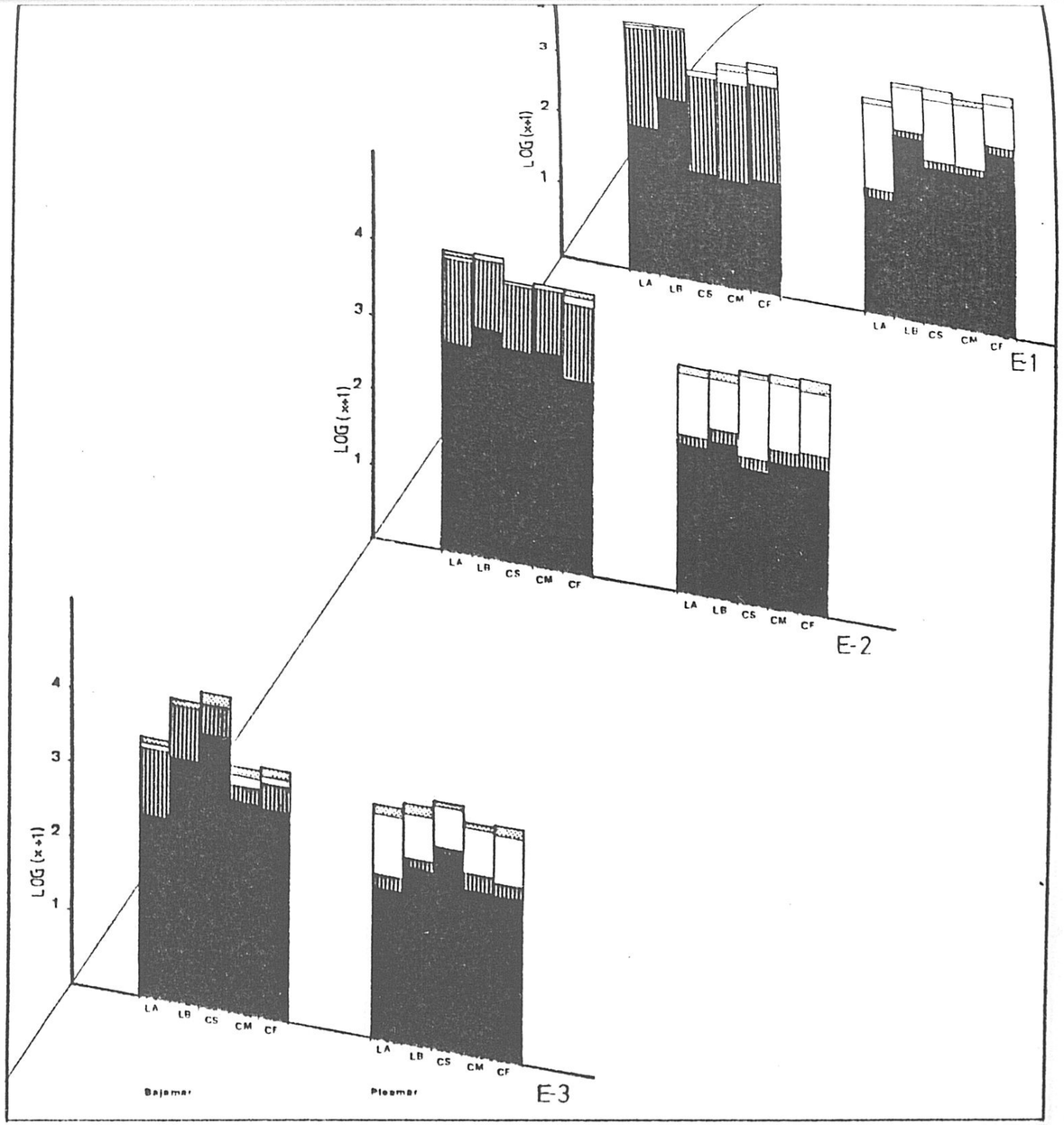
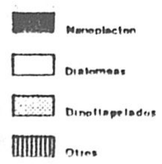


Figura 5.2.- (Continuación).



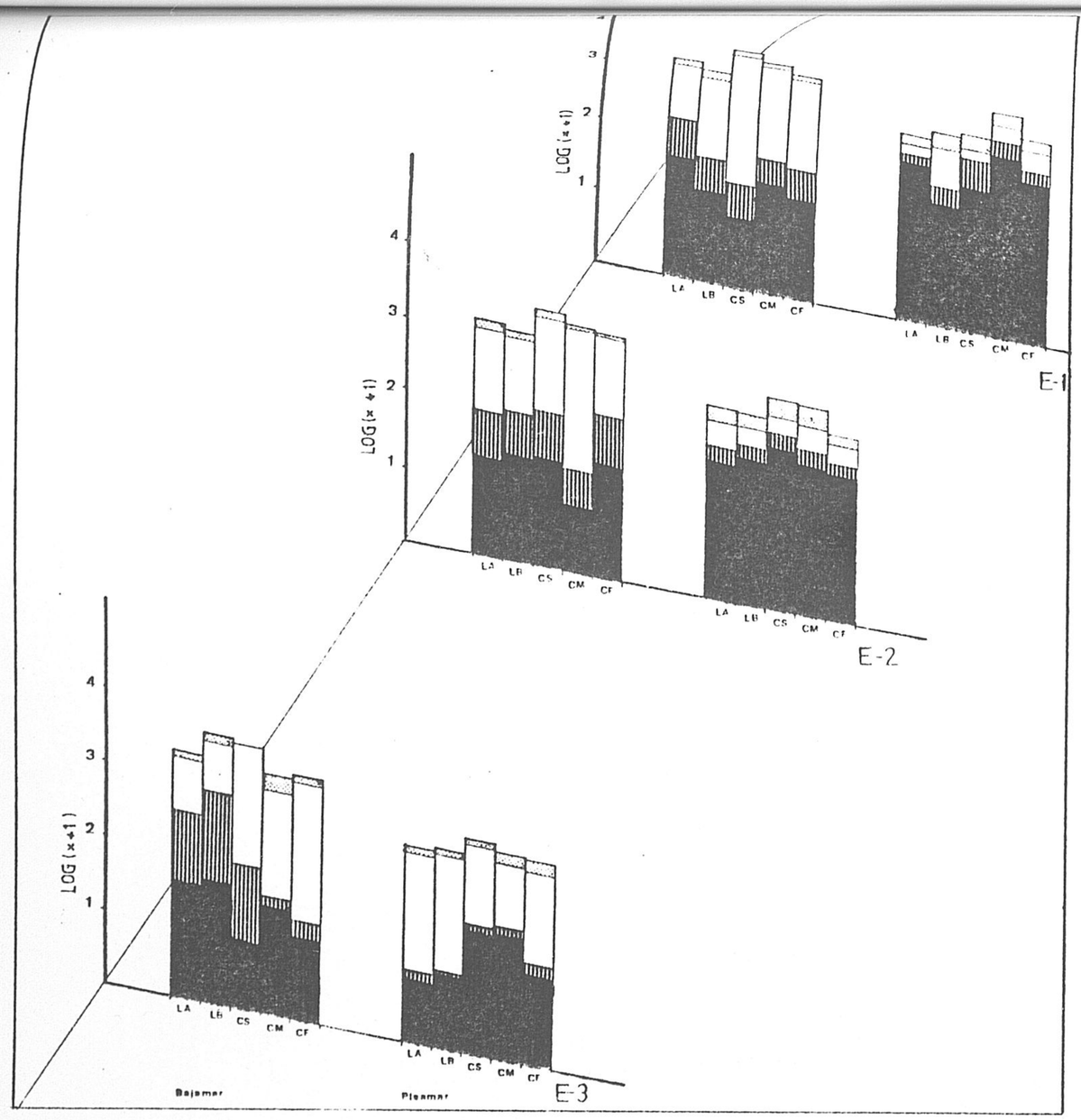


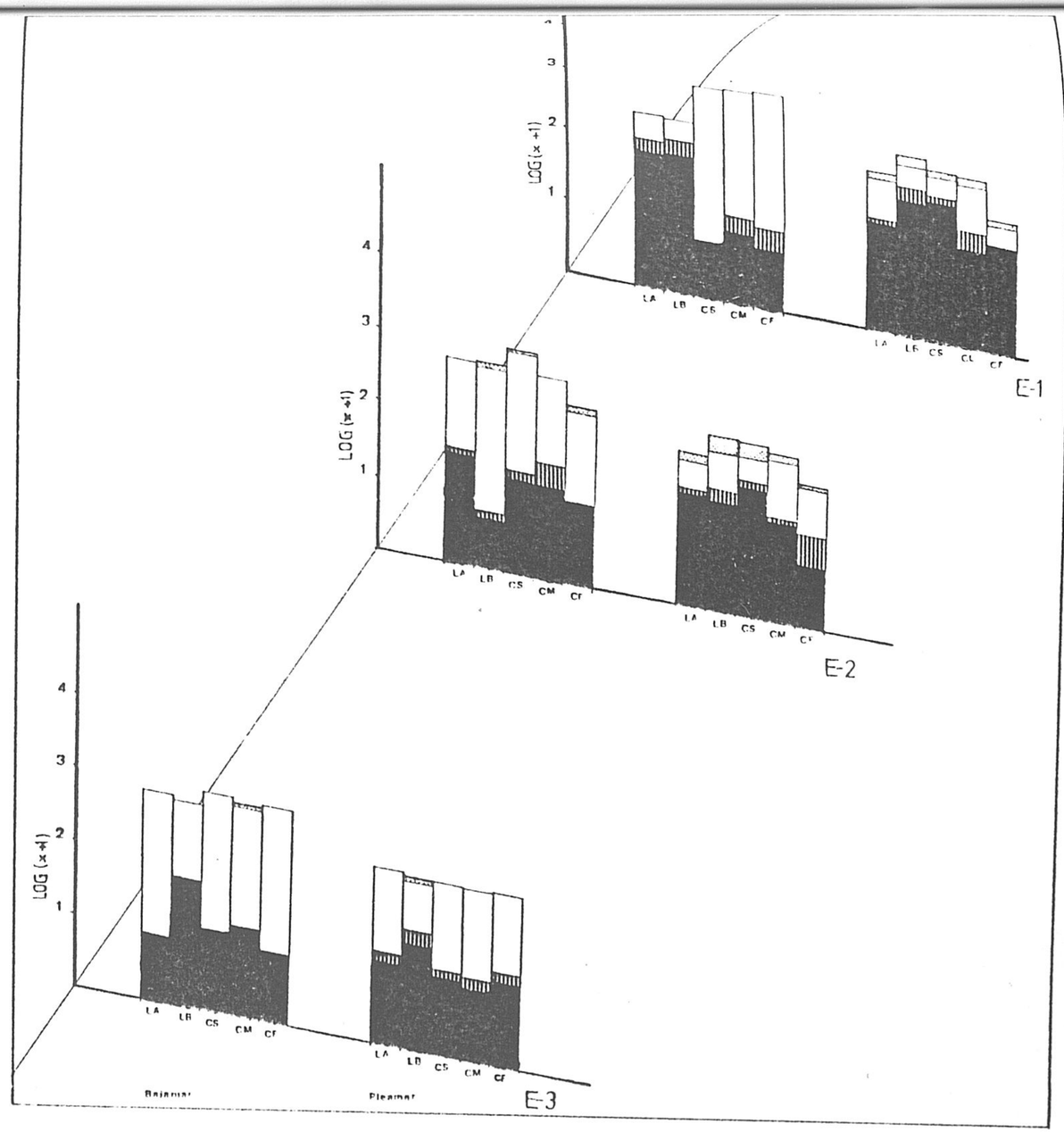


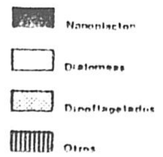
AGOSTO

SEPTIEMBRE

Figura 5.2.- (Continuación).



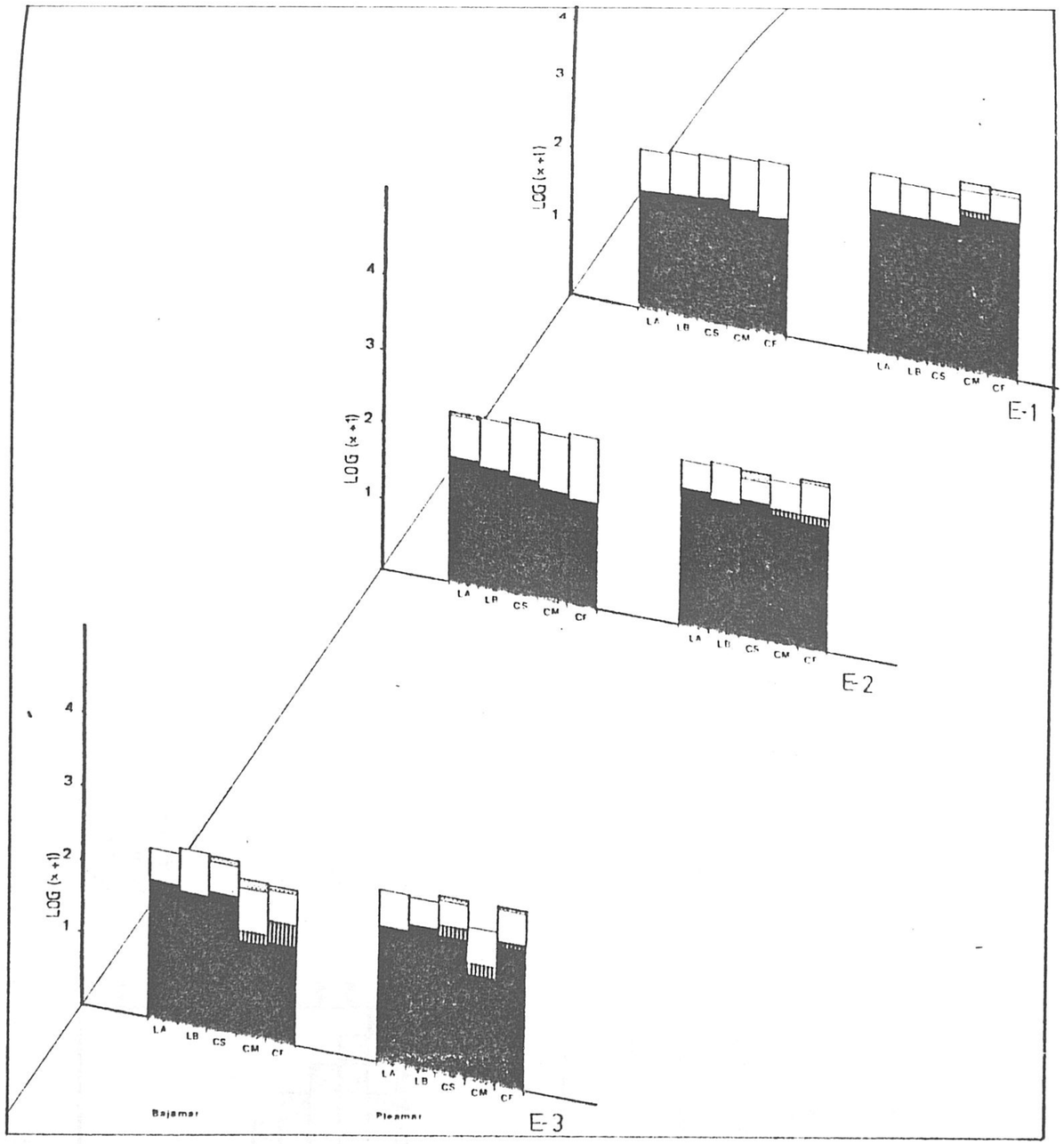




OCTUBRE

NOVIEMBRE

Figura 5.2.- (Continuación).



DICIEMBRE

Figura 5.2.- (Continuación).

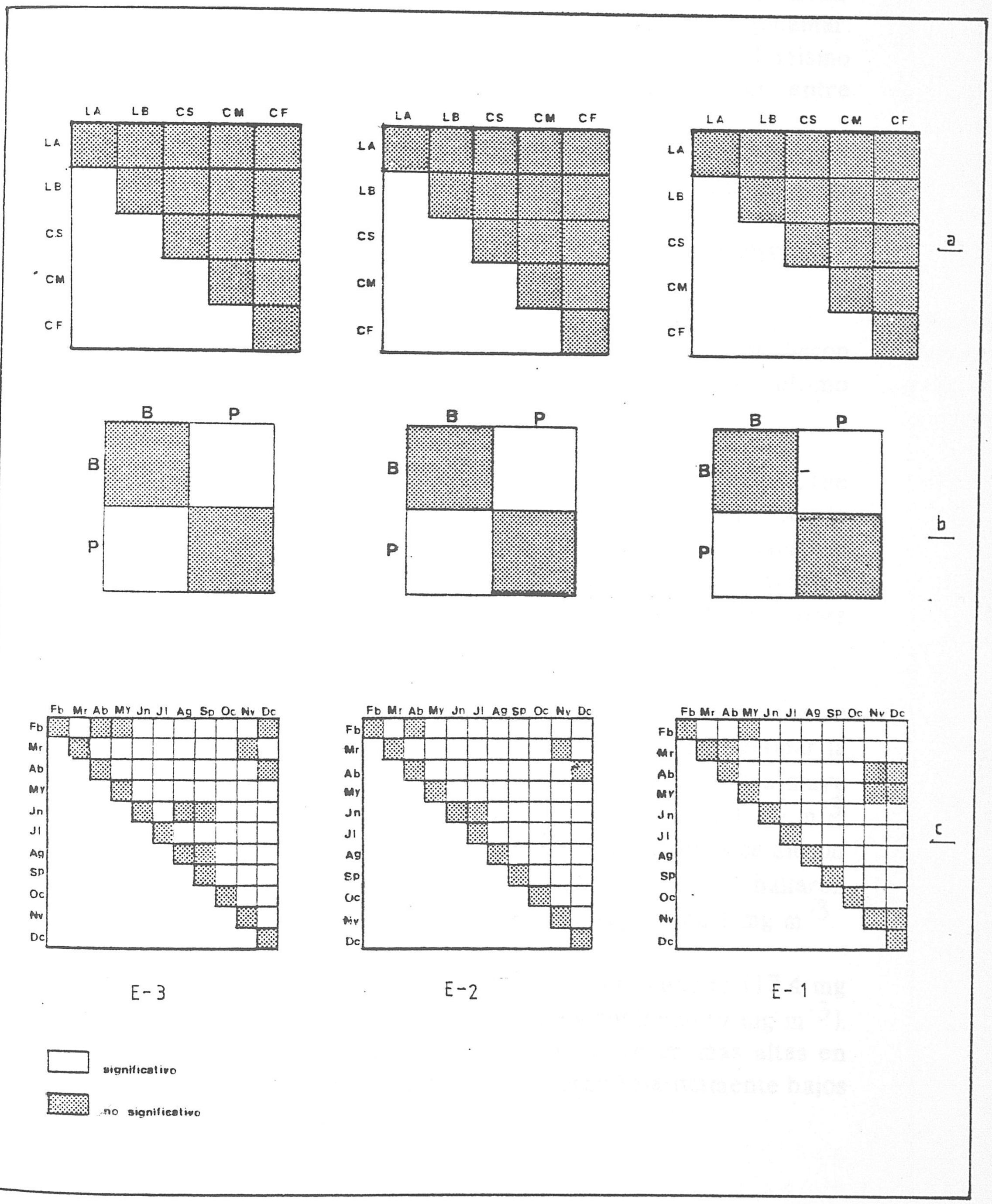


Figura 5.3.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de la Abundancia.

5.2.- CLOROFILA a

La clorofila a, igual que las variables físicas y químicas, se midió en los tres momentos de marea de bajamar, media subiendo y pleamar. Su distribución temporal (figura 5.4) en toda la ría mostró el mismo comportamiento, si bien con algunas pequeñas diferencias entre estaciones.

El ciclo anual que se estableció fue semejante al encontrado en el número total de células: niveles bajos en los meses de invierno y finales de primavera; un máximo a finales de invierno principios de primavera y valores altos en verano.

Las mayores concentraciones a lo largo del ciclo mareal se dieron en la media marea subiendo, seguidas de las de bajamar y por último pleamar.

En la estación 3, excepto en los meses de agosto y septiembre, fue el agua de superficie la que presentó los valores más bajos de toda la columna de agua (figura 5.4). Los máximos de las floraciones de marzo y junio se obtuvieron en el punto medio de la columna de agua central (7.7 mg m^{-3} en marzo y 10.6 mg m^{-3} en junio). En pleamar las mayores concentraciones se dieron en superficie.

La estación 2 presentó en junio los máximos de todo el ciclo estudiado, para toda la ría (M = 19.27 mg m^{-3} D = 22.2). En bajamar la floración de marzo no fue muy alta (1 mg m^{-3}) y desde febrero a mayo las concentraciones encontradas se mantuvieron por debajo de 1 mg m^{-3}. En pleamar los niveles de clorofila a fueron bajos. Los máximos se dieron en junio (M = 2.9 mg m^{-3}) y en octubre donde en superficie se hallaron valores de 4.3 mg m^{-3}; durante el resto del año no superaron 1 mg m^{-3}.

En la estación 1, el máximo de junio se dio en bajamar (17.4 mg m^{-3} en superficie) y el de marzo en media marea subiendo (9 mg m^{-3}). En esta estación las concentraciones de clorofila a fueron más altas en marzo que en octubre. En pleamar los valores fueron relativamente bajos a lo largo del año, no superando las 2 mg m^{-3}.

Las medias y dispersiones por meses se expresan en la Tabla 5.4.

Para contrastar la significación estadística entre las medias se realizó el correspondiente análisis de la varianza. Los resultados de este análisis figuran en la Tabla 5.5.

Entre las masas de agua no aparece significación estadística al nivel del 5% en las estaciones 3 y 1. En la estación 2 tampoco aparece al aplicar la prueba F del análisis de la varianza, sin embargo al aplicar la prueba T de Tuckey aparece diferencia entre los litorales A y B (figura 5.5.a).

El ciclo mareal (figura 5.5.b) presentó diferencias significativas en las tres estaciones. En la estación 3 no apareció diferencia entre la bajamar y la pleamar, presentando ambas significación con la media marea subiendo. En la estación 2 se rechaza la hipótesis de homogeneidad de medias entre los tres momentos mareales. En la estación 1 la bajamar y la media marea subiendo no presentaron diferencia significativa pero sí la presentaron con la pleamar. Las medias para las tres estaciones en los tres estados de marea se dan en la tabla siguiente:

	E-1	E-2	E-3
Bajamar	3.02 mg m^{-3}	2.87 mg m^{-3}	2.32 mg m^{-3}
Media	3.54 mg m^{-3}	6.52 mg m^{-3}	5.99 mg m^{-3}
Pleamar	1.06 mg m^{-3}	1.33 mg m^{-3}	2.47 mg m^{-3}

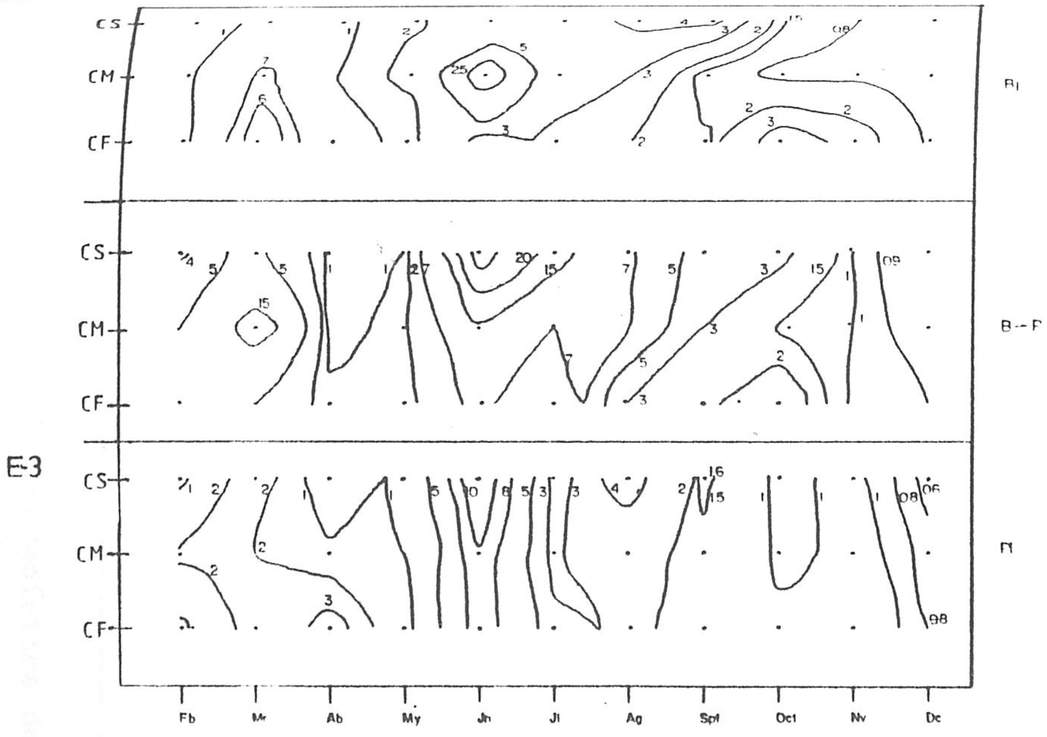
De la menor diferencia significativa al comparar las medias de los meses de muestreo (figura 5.5.c) en cada estación, se presentaron con significación al 95% los siguientes meses:

Estación 1

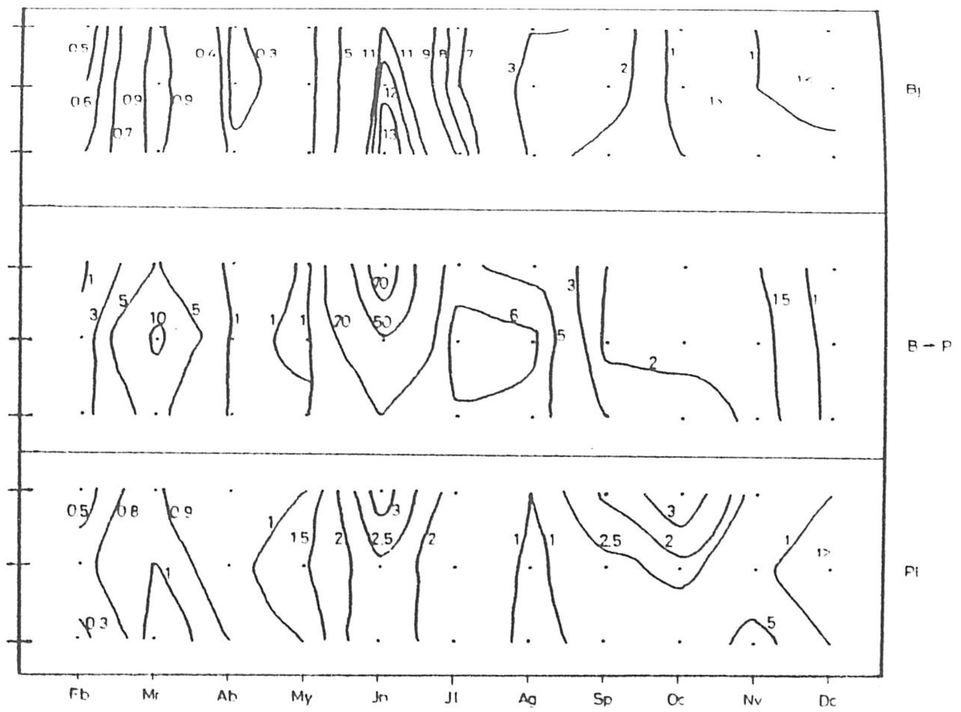
Mes de junio (9.5 mg m^{-3}); julio (4.64 mg m^{-3}); marzo, agosto, septiembre y octubre (2.5 mg m^{-3}) y el resto de los meses.

Estación 2

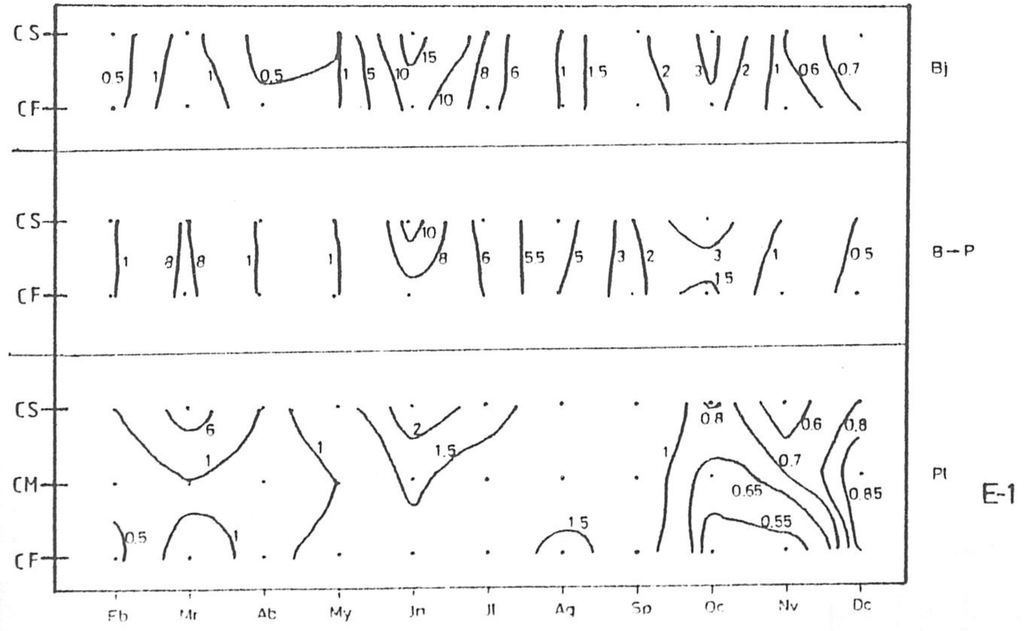
Con cuatro grupos de meses: junio (19.27 mg m^{-3}) julio (4.69 mg m^{-3}); marzo, agosto y septiembre (M = 2.83 mg m^{-3}) y los meses de febrero, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre.



E-3



E-2



E-1

Figura 5.4.- Distribución temporal de la clorofila a (mg/m^3) en el punto central de las tres estaciones de muestreo y en los tres momentos de marea. (Bj.=Bajamar; B P Media; Pl.= Pleamar).

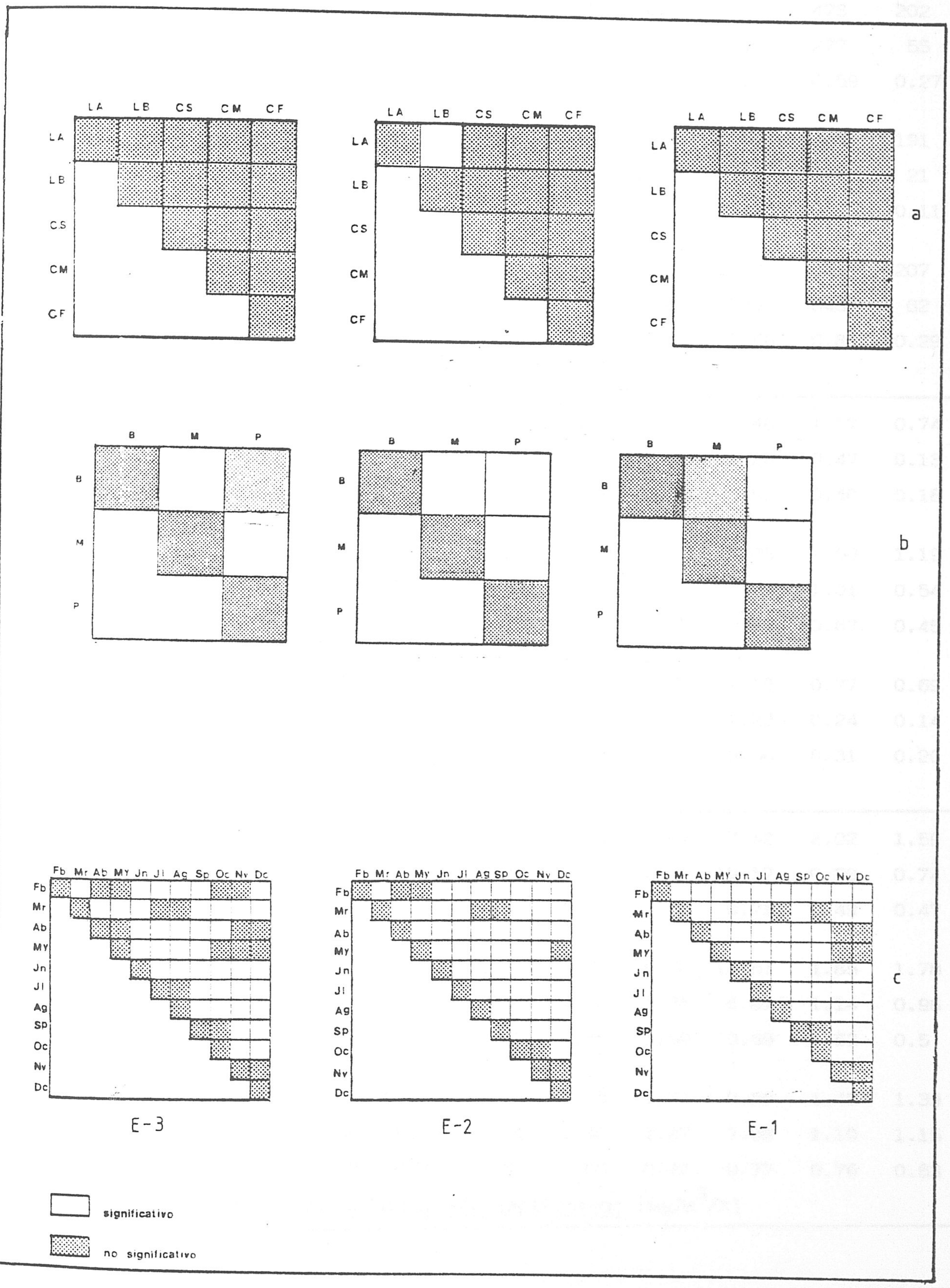


Figura 5.5.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de Clorofila a.

		Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
E-3	M	151	444	158	103	4077	10263	3285	4229	1570	473	202
	D	50	279	53	46	2379	8294	1435	5033	1200	277	55
	D/M	0.33	0.63	0.33	0.44	0.58	0.81	0.44	1.19	0.76	0.59	0.27
E-2	M	147	343	157	80	6620	9364	1994	3975	1084	344	191
	D	96	208	49	20	3627	11371	1614	3243	707	252	21
	D/M	0.65	0.61	0.31	0.25	0.55	1.21	0.81	0.82	0.65	0.73	0.11
E-1	M	102	279	204	82	9069	5496	2048	2286	1120	406	207
	D	34	179	94	26	4266	4040	1512	1748	743	348	62
	D/M	0.33	0.64	0.46	0.32	0.47	0.74	0.74	0.76	0.66	0.86	0.29

Tabla 5.2.- Abundancia (cel/ml)

E-3	M	1.84	5.13	0.95	1.36	12.30	6.22	4.25	3.13	2.46	1.17	0.74
	D	1.70	4.70	0.80	0.50	9.78	5.42	2.23	2.60	2.26	0.47	0.13
	D/M	0.92	0.92	0.84	0.37	0.80	0.87	0.52	0.83	0.92	0.40	0.18
E-2	M	0.84	3.15	0.53	0.94	19.27	4.69	3.20	2.15	1.85	1.50	1.19
	D	0.52	3.32	0.24	0.32	22.20	3.42	2.23	0.78	1.54	1.01	0.54
	D/M	0.62	1.05	0.45	0.36	1.15	0.73	0.69	0.36	0.83	0.67	0.45
E-1	M	0.42	3.64	0.65	0.88	9.50	4.64	2.83	1.73	2.19	0.77	0.69
	D	0.13	3.90	0.20	0.29	6.14	3.02	2.02	0.42	1.22	0.24	0.14
	D/M	0.31	1.07	0.31	0.33	0.65	0.65	0.71	0.24	0.56	0.31	0.20

Tabla 5.4.- Clorofila a (mg m^{-3})

E-3	M	0.98	2.44	0.37	0.55	10.17	1.11	1.24	9.07	27.62	2.02	1.59
	D	0.69	2.42	0.39	0.27	6.70	1.28	0.96	13.39	19.57	0.99	0.74
	D/M	0.70	0.99	1.08	0.49	0.65	1.15	0.67	1.48	0.71	0.49	0.47
E-2	M	0.59	5.76	0.57	0.77	14.37	11.52	0.75	0.90	11.61	1.85	1.78
	D	0.56	6.89	0.23	0.44	13.25	6.90	1.17	1.35	6.81	1.14	0.96
	D/M	0.95	0.17	0.40	0.57	0.92	0.59	1.56	1.50	0.59	0.62	0.5
E-1	M	1.59	2.36	0.41	0.98	23.53	14.59	1.33	1.77	9.59	1.45	1.39
	D	1.87	2.16	0.21	0.38	18.39	12.95	1.40	1.27	7.38	1.10	1.15
	D/M	1.18	0.92	0.51	0.39	0.78	0.89	1.05	0.72	0.77	0.76	0.83

Tabla 5.6.- Carbono asimilado particulado (mg/m^3/h)

Estación 3

Aparecieron tres grupos que difieren entre sí. El primero formado por junio (12.3 mg m^{-3}). El segundo por los meses de marzo, agosto y julio con un valor medio de 5.2 mg m^{-3} y el tercero por los restantes meses.

5.3.- PRODUCCION PRIMARIA

La producción se midió quincenalmente, alternando los momentos de marea bajamar y pleamar. En la Tabla 3.5 se indica la hora de medida y el tiempo de incubación.

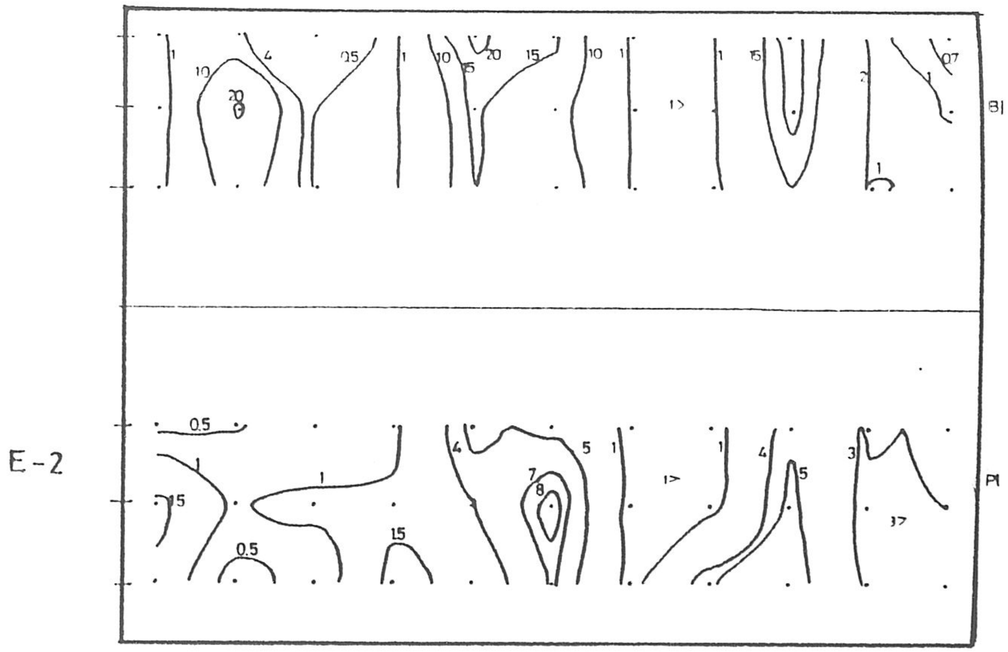
La distribución temporal de la cantidad de carbono asimilado, en cada estación se muestra en la figura 5.6 expresado en mg $C/m^3/h$. Los valores máximos se obtuvieron en octubre (M = 27.6 mg $C/m^3/h$, D = 19.5 en la estación 3) y los mínimos en abril (M = 0.37 $mg/m^3/h$, D = 0.39). En la Tabla 5.6 se expresan los valores medios obtenidos durante el período de estudio.

Respecto al ciclo mareal, los mayores niveles se obtuvieron en bajamar. En la Tabla 5.7 se presentan las medias y dispersiones en los dos momentos de marea en los que se realizaron las medidas; como se puede observar en bajamar fue donde existió una mayor variabilidad como lo demuestra el cociente D/M.

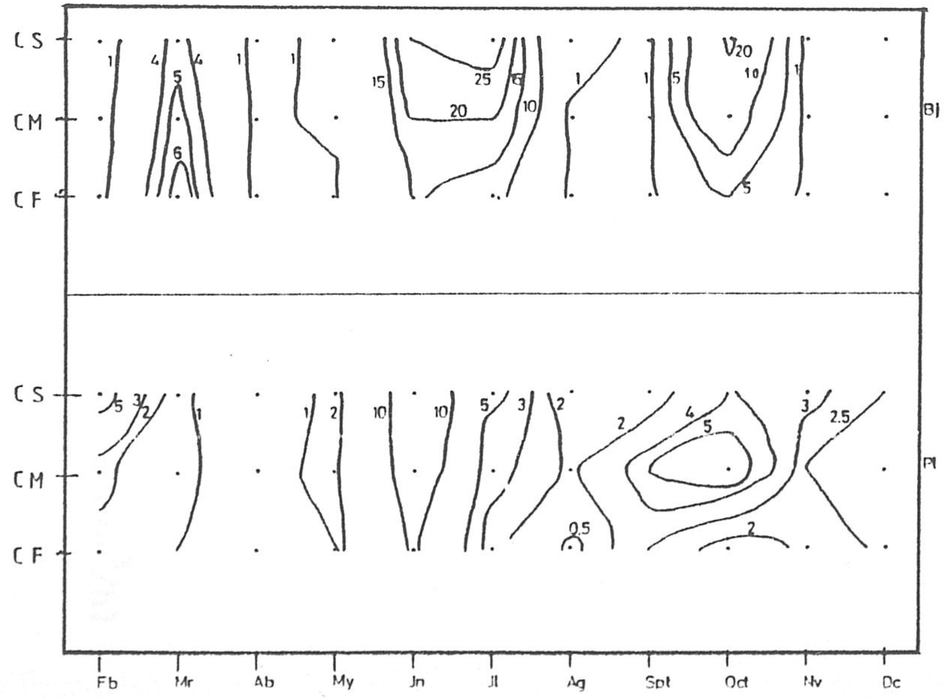
Calculamos el carbono asimilado por unidad de área (mg $C/m^2/h$), mediante la integración de los valores de la columna de agua (Tabla 5.8). Se obtuvieron mayores valores en pleamar que en bajamar. En pleamar aumenta el volumen de la columna de agua y la producción por unidad de volumen es menor.

La profundidad a la que se encontró la producción máxima, en cada observación, varió a lo largo del año (figura 5.6). En marzo en todas las estaciones y en los dos momentos de marea, el máximo se encontró en la profundidad media de la columna de agua. En este punto estuvo presente en un porcentaje alto Cryptomonas sp. (91% en E-3, 81% en E-2 y 40% en E-1). Los valores de irradiancia oscilaron alrededor del 50% de la de superficie (52.5 W m^{-2} en E-3; 122.5 W m^{-2} en E-2 y 130 W m^{-2}en E-1). En junio, en la estación 3 el máximo también se produjo en la profundidad media (en bajamar y pleamar). En este punto la

E-3



E-2



E-1

Figura 5.6.- Distribución temporal de Carbono asimilado particulado (CAP) (mg C/m^3/h) en el punto central de las tres estaciones de muestreo y en los dos momentos de marea en los que se realizaron las medidas (Bajamar y Pleamar).

		E-3	E-2	E-1
	M	7.09	6.82	7.73
BAJAMAR	D	14.23	9.78	13.45
	D/M	2.01	1.43	1.74
	M	3.33	2.34	3.09
PLEAMAR	D	4.92	2.24	3.78
	D/M	1.48	0.96	1.22

M = Media

D = Desviación típica

Tabla 5.7.- Medias y dispersiones del CAP en Bajamar y Pleamar (mg $C/m^3/h$)

Tabla 5.8. C ASIMILADO EN LA COLUMNA DE AGUA mg C m^2/h

Meses	E - 3		E - 2		E - 1	
	Bajamar	Pleamar	Bajamar	Pleamar	Bajamar	Pleamar
Febrero	1.76	12.82	0.23	5.32	0.02	5.94
Marzo	12.41	17.62	45.43	2.84	5.53	2.4
Abril	0.43	0.94	1.29	3.61	0.64	0.49
Mayo	1.06	2.4	1.31	4.7	0.9	2.6
Junio	40.59	40.65	50.4	14.58	20.3	25.7
Julio	0.84	3.61	40.78	29.34	20.17	7.41
Agosto	2.58	4	1.23	1.01	0.87	2.09
Septiembre	28.35	1.06	1.36	5.75	0.7	7.2
Octubre	98.64	73.05	63.11	21.05	13.1	8.67
Noviembre	4.17	4.88	3.97	11.1	0.38	6.78
Diciembre	3.07	7.3	3	11.4	0.38	5.45

irradiancia fue de un 6% respecto a la de superficie (e = 1.87 m^{-1}). También dominó Cryptomonas sp. En las estaciones 1 y 2, la producción máxima se produjo en superficie. Las medidas de producción se hicieron en dos días consecutivos. La variación de la intensidad luminosa fue grande. En consecuencia, el día en el que se midió la producción en la estación 3, los valores de irradiación en superficie fueron de 102 W m^{-2}, mientras que los de la estación 2 fueron de 25.7 W m^{-2} y en la estación 1 de 29 W m^{-2}.

La producción media en superficie expresada en mg C/m^3/h se presenta en la Tabla 5.9. Los valores encontrados nos indican que los litorales fueron más productivos que el agua de superficie central. Generalmente, encontramos mayor producción en los litorales, excepto en junio, en agosto en la pleamar y en octubre en bajamar.

Los resultados del análisis estadístico (Tabla 5.10) realizado sobre las medidas de producción, expresadas en mg C/m^3/h nos indican que no existió diferencia significativa entre las medias de producción en bajamar y en pleamar ($p < 0.05$) (figura 5.7.a). Las medias de las masas de agua (figura 5.7.a) fueron homogéneas en las estaciones 2 y 3 mientras que en la estación 1 se pueden establecer dos grupos. El primero formado por agua de fondo y litoral B, y el segundo por agua de centro (superficie y media) y litoral A.

Las diferencias significativas obtenidas en el ciclo anual se muestran en la figura 5.7.c. En todas las estaciones estudiadas de la ría aparecieron los meses de octubre, junio y julio como los más productivos y significativamente diferentes del resto de los meses, donde la producción fue baja.

Entre los factores que pueden afectar a la asimilación de carbono se encuentran: La intensidad de luz, la temperatura, los nutrientes y la concentración de clorofila a. Realizamos un análisis de regresión múltiple entre el carbono asimilado particulado (CAP) y los factores indicados; la ecuación obtenida fue:

$$CAP = 4.65 + 1.65[\text{clorofila a}] - 0.01\ I_L(W\ m^{-2}) + 0.48\ \text{Temperatura} - 0.1[NO^-_3] + 0.16[PO^=_4] - 0.03[Si\ O^=_2] - 0.06\ N{:}P$$

Tabla 5.9. VALORES MEDIOS EN SUPERFICIE (C A P) mg $C/m^3/h$

	E - 3				E - 2				E - 1			
	Bajamar		Pleamar		Bajamar		Pleamar		Bajamar		Pleamar	
Meses	M	D	M	D	M	D	M	D	M	D	M	D
Febrero	0.19	(0.15)	1.28	(0.28)	0.11	(0.05)	0.77	(0.12)	0.038	(0.02)	3.94	(1.4)
Marzo	0.98	(0.56)	0.94	(0.15)	6.34	(3.55)	0.62	(0.19)	4.22	(1.32)	0.56	(0.43)
Abril	0.29	(0.18)	0.69	(0.58)	0.53	(0.16)	0.53	(0.1)	0.58	(0.13)	0.18	(0.05)
Mayo	0.29	(0.11)	0.8	(0.22)	0.39	(0.11)	0.97	(0.25)	0.7	(0.39)	1.1	(0.22)
Junio	11.68	(8.1)	4.8	(1.29)	32.22	(7.77)	3.55	(1.91)	43.8	(22.6)	14.75	(3.28)
Julio	0.46	(0.23)	2.57	(1.47)	20.27	(3.3)	3.98	(1.58)	32.15	(5.17)	3.73	(1.82)
Agosto	0.73	(0.09)	1.49	(1.49)	0.47	(0.2)	1.62	(1.85)	2.87	(1.56)	0.38	(0.28)
Septiembre	27.5	(10.5)	0.41	(0.07)	0.65	(0.06)	0.4	(0.09)	1.25	(0.49)	1.48	(0.15)
Octubre	53.28	(16.63)	15.6	(3.69)	16.3	(5.39)	6.16	(2.1)	19.35	(1.32)	3.49	(1.97)
Noviembre	2.8	(0.29)	2.67	(0.26)	0.9	(0.22)	2.67	(1.4)	0.47	(0.12)	2.64	(0.4)
Diciembre	0.93	(0.21)	2.53	(0.48)	0.88	(0.29)	2.27	(0.93)	0.35	(0.04)	2.17	(0.93)

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.14	$3.45.10^{-2}$	0.68
Meses de muestreo	10	43.66	4.37	86.44 *
Error masas de agua	40	2.02	$5.05.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	1	1.52	1.52	15.62 *
Masas de agua por ciclo	4	0.11	$2.76.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	50	4.85	$9.70.10^{-2}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.15	$3.73.10^{-2}$	1.52
Meses de muestreo	10	45.11	4.51	184.26 *
Error masas de agua	40	0.98	$2.45.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	1	5.09	5.09	62.88 *
Masas de agua por ciclo	4	0.12	$2.87.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	50	4.05	$8.09.10^{-2}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$2.29.10^{-2}$	$5.74.10^{-3}$	0.143
Meses de muestreo	10	44.15	4.42	109.89 *
Error masas de agua	40	1.61	$4.02.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	1	2.19	2.19	19.37 *
Masas de agua por ciclo	4	$4.74.10^{-2}$	$1.18.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	50	5.67	0.11	

G.L. : Grados de libertad
S.C. : Suma de cuadrados
C.M. : Cuadrados medios
* : Significativo

Tabla 5.3. Análisis de la varianza. Abundancia.

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.03	$6.38.10^{-3}$	0.21
Meses de muestreo	10	8.77	0.8773	28.12 *
Error masas de agua	40	1.25	$3.12.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	2	1.62	0.81	21.01 *
Masas de agua por ciclo	8	0.16	$1.99.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	3.84	$3.84.10^{-2}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.10	$2.61.10^{-2}$	2.55
Meses de muestreo	10	9.61	0.96	94.25 *
Error masas de agua	40	0.41	0.01	
Momentos del ciclo mareal	2	1.83	0.92	18.83 *
Masas de agua por ciclo	8	$8.16.10^{-2}$	$1.02.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	100	4.86	$4.86.10^{-2}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$2.36.10^{-2}$	$5.89.10^{-3}$	0.915
Meses de muestreo	10	8.19	0.82	127.14 *
Error masas de agua	40	0.26	$6.44.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	2	1.36	0.68	16.16 *
Masas de agua por ciclo	8	0.03	$3.86.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	100	4.19	$4.19.10^{-2}$	

Tabla 5.5. Análisis de la varianza. Clorofila a

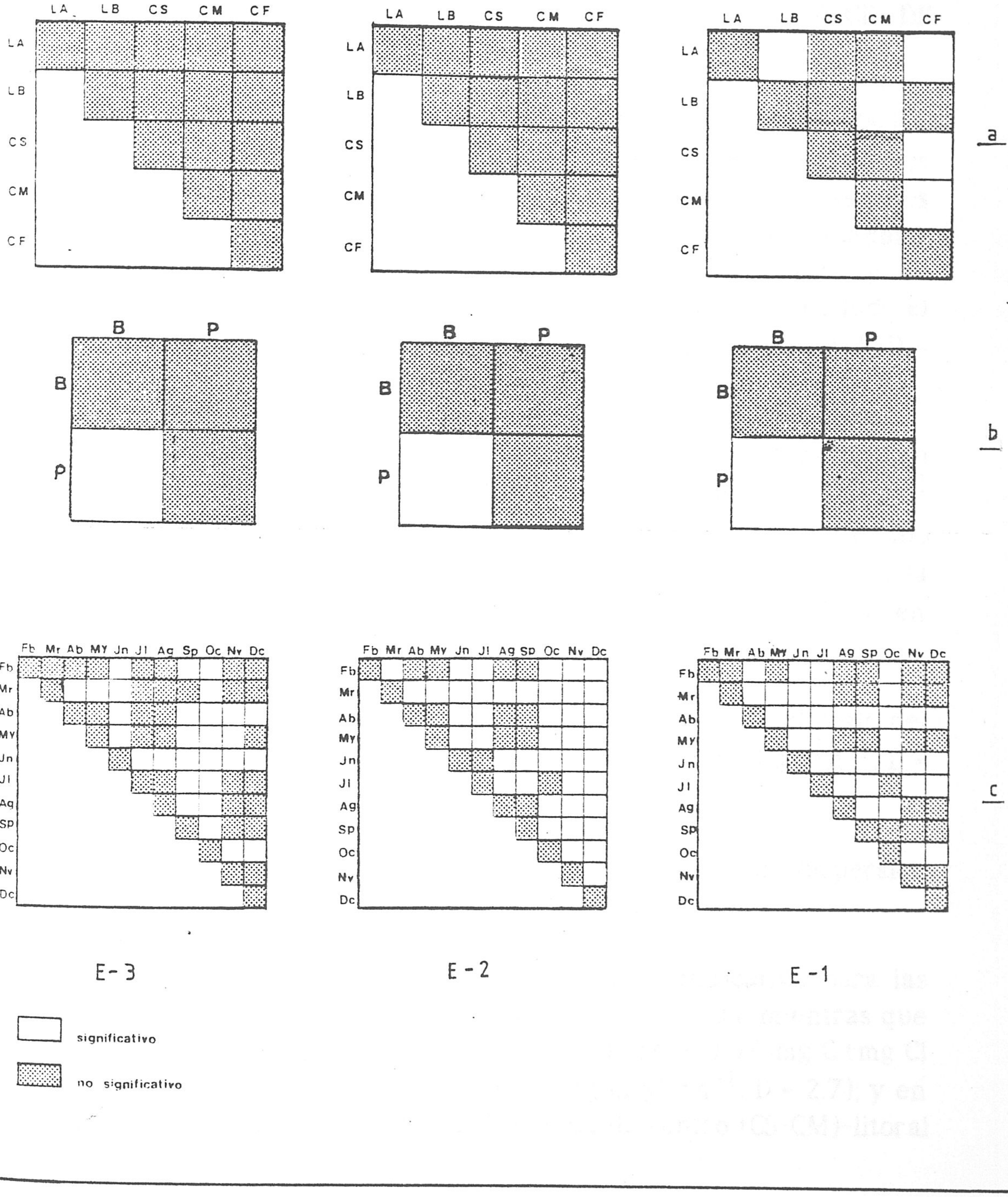


Figura 5.7.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios del Carbono asimilado particulado ($mgC/m^3/h$) (CAP).

FACULTAD DE CIENCIAS BIBLIOTECA GRANADA

Los únicos coeficientes significativos son los correspondientes a la clorofila a y a la temperatura. La dependencia del CAP de ambos factores se ajustó a la ecuación:

$$CAP = 0.98+1.65[\text{clorofila } a] + 0.1 \text{ Temperatura } (r = 0.6).$$

5.4.- PRODUCCION POR UNIDAD DE CLOROFILA O INDICE DE ASIMILACION

En la figura 5.8 se muestra la evolución del índice de asimilación en función del tiempo y de la profundidad en cada estación. Los máximos valores del índice se dieron en octubre en la estación 3. Fueron más bajos en superficie donde los altos niveles de luz saturan los sistemas fotorreceptores. Variaron ampliamente de una estación a otra y de bajamar a pleamar. En la estación 1 en la pleamar, durante casi todo el año se dieron los mayores valores (M = 3.09 mg C (mg Cl a)$^{-1}$ h^{-1}, D = 1.9).

En la estación 2 en bajamar se obtuvieron dos máximos, uno en marzo (máximo para esta época en toda la ría) de 16 mg C (mg Cl a)$^{-1}$ h^{-1} y otro en octubre (15 mg c (mg Cl a)$^{-1}$h^{-1}); durante el resto del año fueron inferiores a 5 (M = 2.56 mg C (mg Cl a)$^{-1}$h^{-1} , D = 4.7). En la pleamar se obtuvo en octubre (15.3 mg C (mg Ch a)$^{-1}$ h^{-1}) y en noviembre (M = 2.7, D = 3.9).

La estación 3, excepto en el mes de octubre, durante el resto del año los valores no superaron a 2 (M baj = 1.75 mg C (mg Cl a)$^{-1}$h^{-1}, D = 2.16, M pleamar = 2.07, D = 4.05).

En la Tabla 5.11 se dan las medias y coeficientes de dispersión obtenidos en el ciclo de muestreo, para cada estación.

El análisis estadístico (Tabla 5.12) no fue significativo para las estaciones 2 y 3 en el ciclo mareal ni en las masas de agua; mientras que la estación 1 presentó significación entre bajamar (M = 1.93 mg C (mg Cl a)$^{-1}$ h^{-1}, D = 1.9) y pleamar (M = 3.1 mg C (mg Cl a)$^{-1}$h^{-1}, D = 2.7); y en las masas entre agua de fondo-litoral B y agua de centro (CS-CM)-litoral A.

Para el ciclo anual, en las tres estaciones el mes de octubre presento diferencia significativa respecto a los demás (figura 5.9).

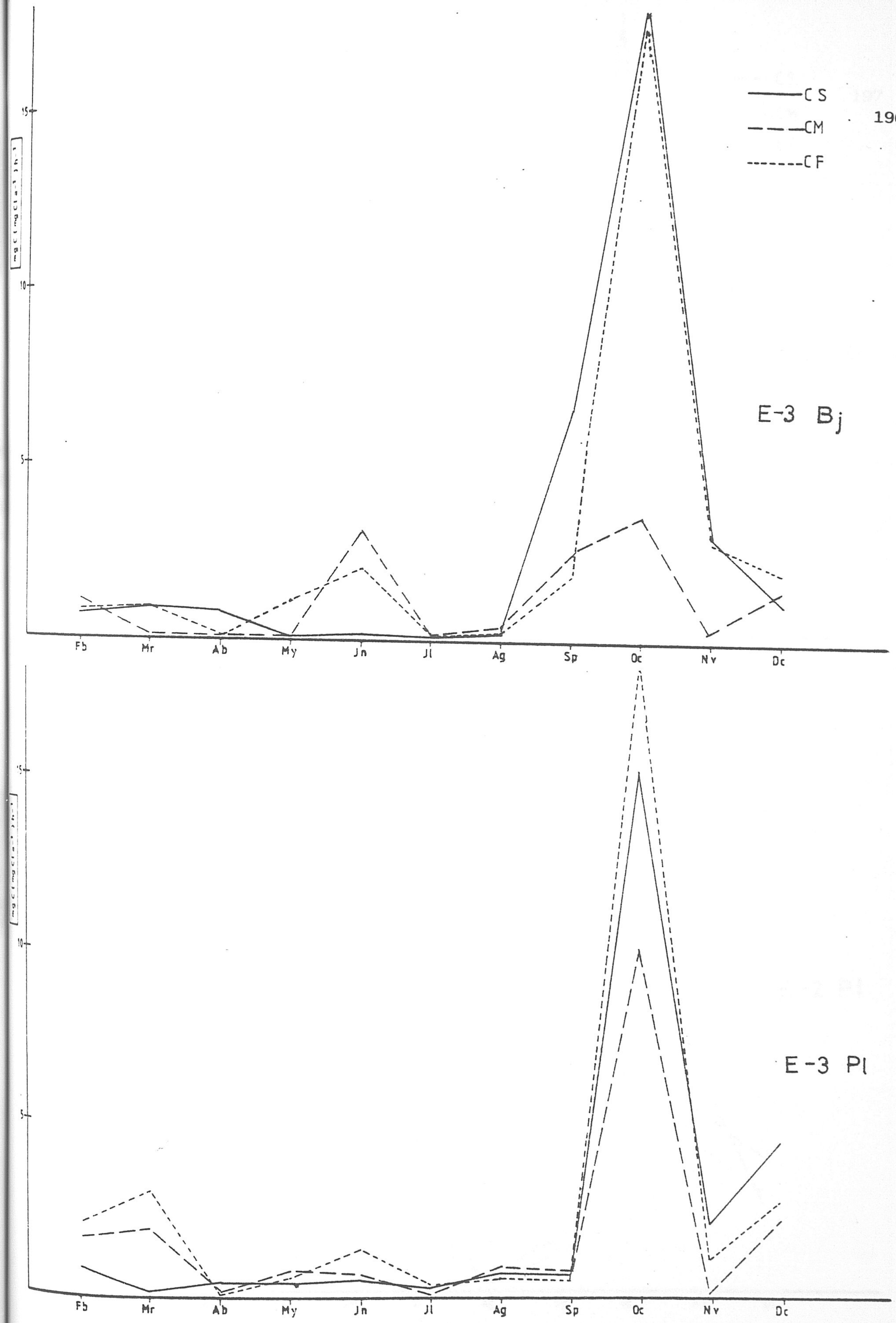


Figura 5.8.- Variación temporal del índice de asimilación en E-3.

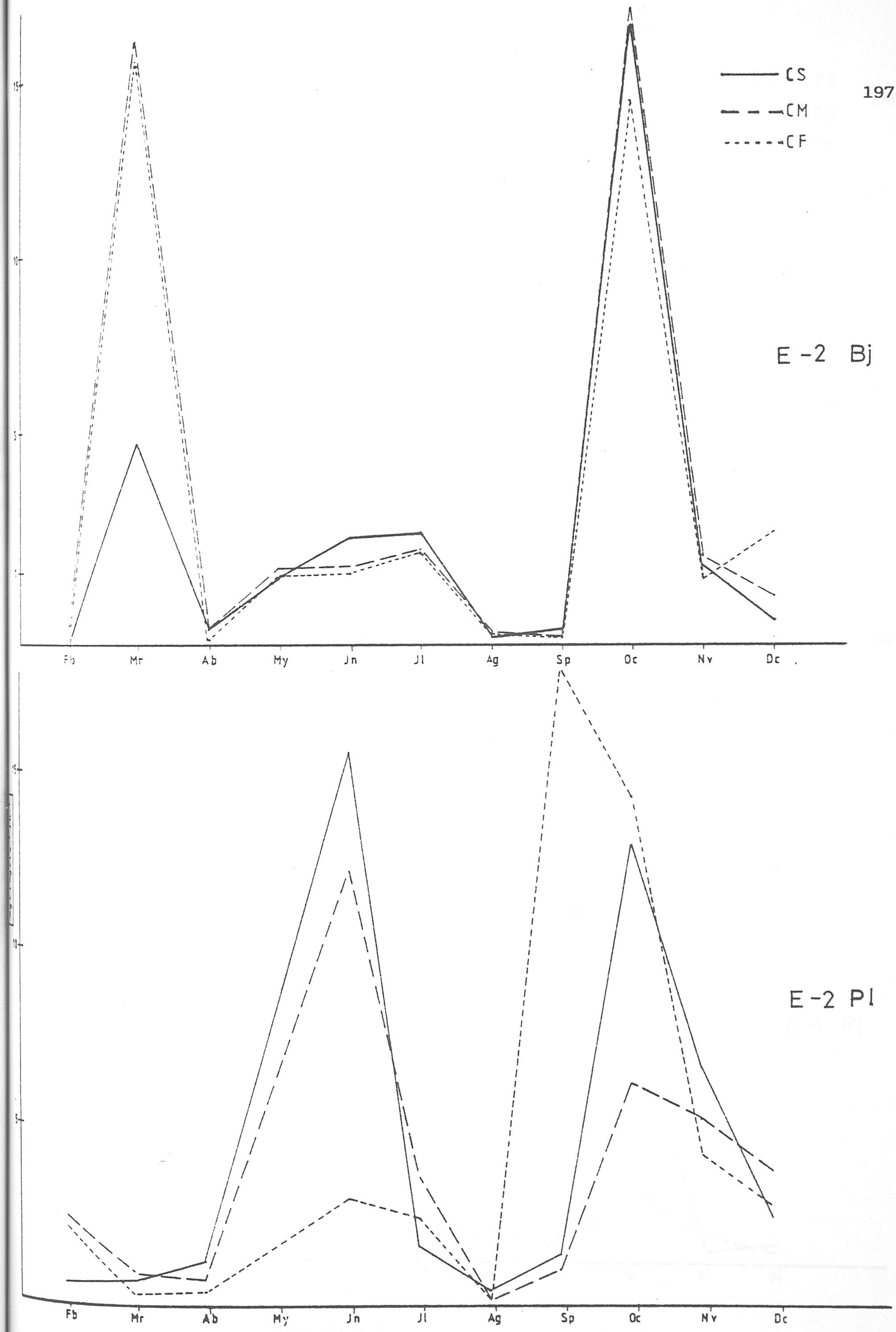


Figura 5.8.- (Continuación) .E-2.

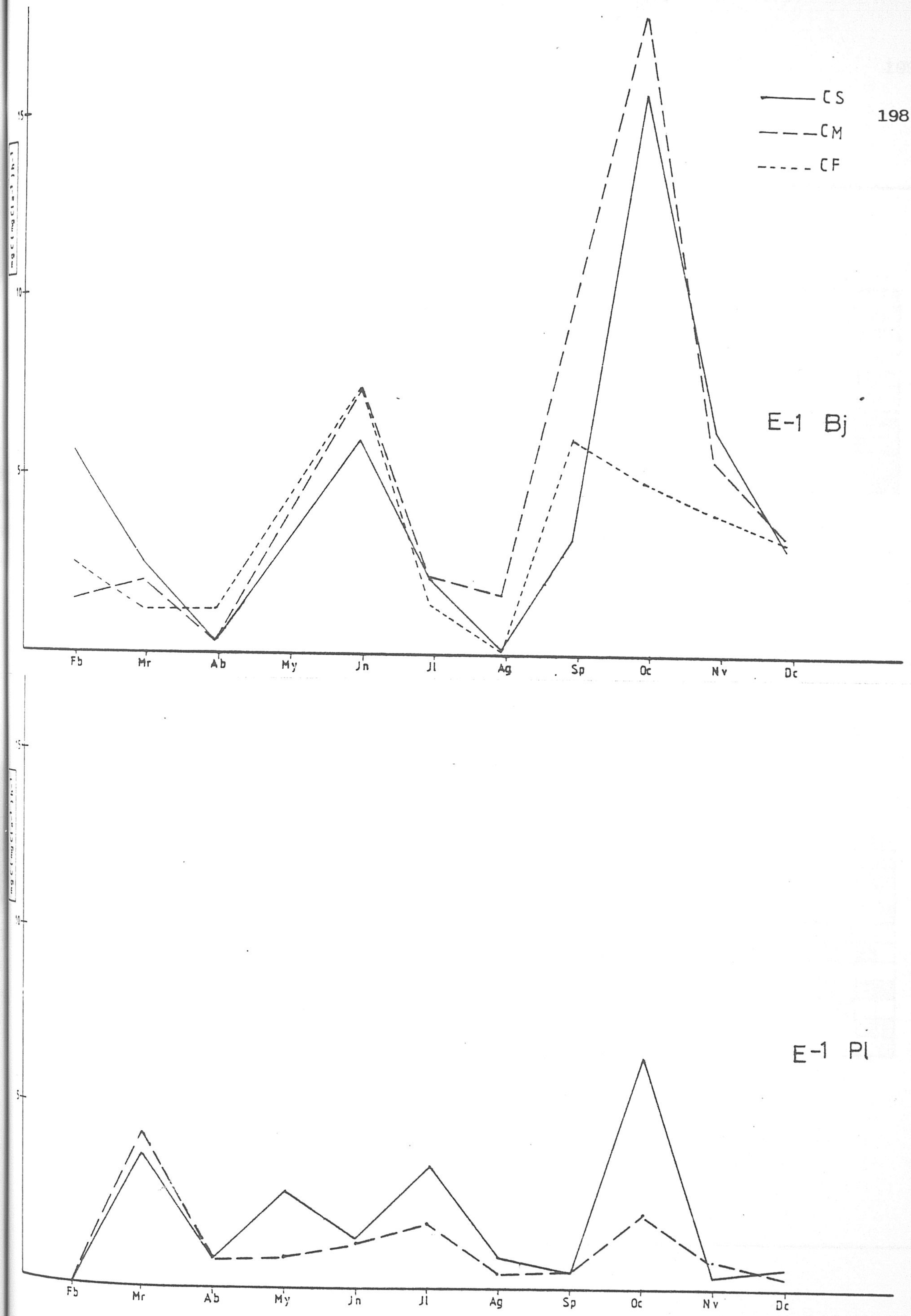


Figura 5.8 (Continuación) E-1.

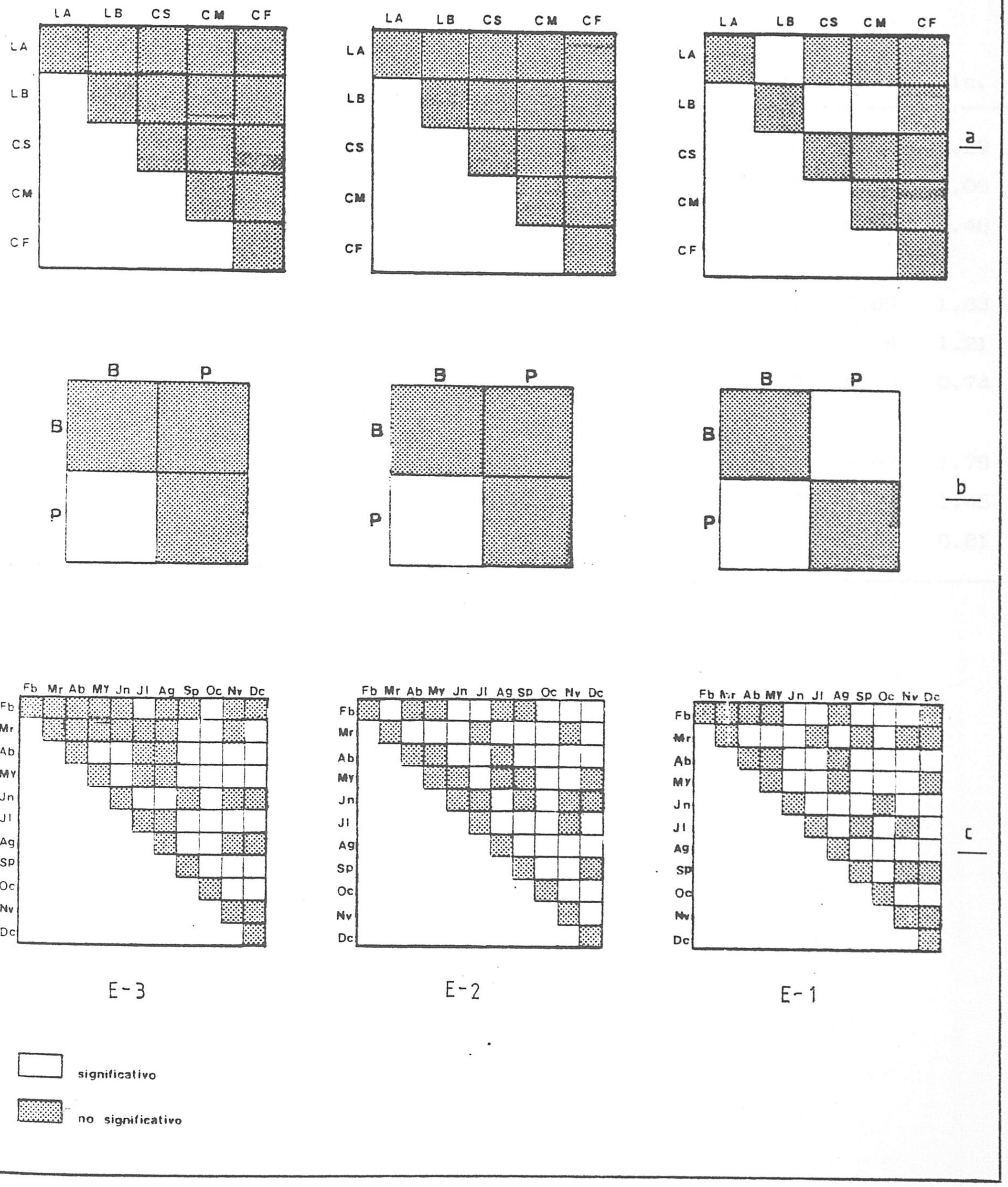


Figura 5.9.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios de CAP/Clorofila a .

		Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
E-3	M	1.14	0.94	0.49	0.51	2.05	0.33	0.40	2.86	10.90	1.87	2.29
	D	0.57	0.90	0.50	0.35	2.22	0.32	0.26	2.86	6.38	1.27	1.06
	D/M	0.50	0.96	1.02	0.68	1.08	0.97	0.65	1.00	0.58	0.68	0.46
E-2	M	0.80	5.34	0.43	0.86	1.60	2.35	0.47	2.50	13.60	2.89	1.63
	D	0.86	6.80	0.35	0.33	0.80	1.44	0.76	5.28	3.18	2.29	1.21
	D/M	1.10	1.27	0.81	0.38	0.50	0.61	1.62	2.11	0.23	0.79	0.74
E-1	M	1.67	2.35	0.61	1.21	4.81	2.32	0.95	2.94	5.35	2.67	1.79
	D	1.83	1.63	0.37	0.76	3.03	1.60	1.05	3.02	2.72	2.19	1.45
	D/M	1.09	0.69	0.61	0.63	0.63	0.69	1.10	1.03	0.51	0.82	0.81

Tabla 5.11.- CAP/Clorofila a (mg C (mg Cl a)$^{-1}$ h^{-1}).

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.19	$4.96.10^{-2}$	0.82
Meses de muestreo	10	14.62	1.36	22.48 *
Error masas de agua	40	2.42	0.06	
Momentos del ciclo mareal	1	$2.86.10^{-2}$	$2.86.10^{-2}$	0.29
Masas de agua por ciclo	4	$4.67.10^{-2}$	$1.17.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	50	4.80	$9.60.10^{-2}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$8.30.10^{-2}$	0.02	0.98
Meses de muestreo	10	12.72	1.27	59.75 *
Error masas de agua	40	0.85	$2.13.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	1	0.41	0.41	3.92
Masas de agua por ciclo	4	0.10	$2.61.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	50	5.21	0.10	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.34	$8.43.10^{-2}$	3.42 *
Meses de muestreo	10	13.78	1.38	55.87 *
Error masas de agua	40	0.99	$2.47.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	1	0.13	0.14	1.23
Masas de agua por ciclo	4	0.16	$4.06.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	50	5.45	0.11	

G.L. : Grados de libertad
S.C. : Suma de cuadrados
C.M. : Cuadrados medios
* : Significativo

Tabla 5.10. Análisis de la varianza. Carbono Asimilado Particulado

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.13	$3.21.10^{-2}$	0.76
Meses de muestreo	10	9.31	0.93	22.14 *
Error masas de agua	40	1.68	$4.21.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	1	$1.68.10^{-2}$	$1.68.10^{-2}$	0.33
Masas de agua por ciclo	4	$6.49.10^{-2}$	$1.62.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	50	2.51	$5.03.10^{-2}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.22	0.56	2.21
Meses de muestreo	10	10.31	1.03	40.92 *
Error masas de agua	40	1.01	$2.52.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	1	$9.09.10^{-2}$	$9.09.10^{-2}$	1.02
Masas de agua por ciclo	4	$6.76.10^{-2}$	$1.69.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	50	4.46	$8.93.10^{-2}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	0.26	0.07	2.77 *
Meses de muestreo	10	2.96	0.29	12.41 *
Error masas de agua	40	0.95	$2.38.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	1	0.68	0.68	9.13 *
Masas de agua por ciclo	4	0.17	$4.31.10^{-2}$	
Error mto. del ciclo	50	3.72	0.07	

Tabla 5.12. Análisis de la varianza. C A P / Clorofila a

5.4.1.- Relación nutrientes-índice de asimilación

Tratamos de investigar la relación existente entre los índices de asimilación obtenidos y la relación N:P. En la figura 5.10 se muestra los resultados obtenidos; todos los puntos quedan encerrados bajo una curva en la que se pueden distinguir varias zonas:

-Una entre 2-4 at N/at P en la que hay pocos puntos, pero en la que a medida que aumenta la relación N:P aumenta el índice de asimilación.

-Otra entre 6 y 18 at N/at P en donde se encuentran los mayores índices de asimilación.

-Otra tercera con valores mayores a 18 en la que los índices de asimilación fueron bajos.

5.4.2.- Relación temperatura-índice de asimilación

En la figura 5.11 se ha representado los valores de la temperatura con respecto al índice de asimilación. Se observan dos zonas:

-Una comprendida entre 10.6^{o}C y 15^{o}C, en la que un aumento de temperatura lleva consigo una disminución en el índice de asimilación, el máximo valor en esta zona se obtuvo a 10.6^{o}C y correspondió al mes de marzo.

-Otra entre 16 y 22^{o}C, en esta se pueden diferenciar:

a.- entre 16 y 20^{o}C en la que un aumento de temperatura produjo un aumento en el índice.

b.- entre 20 y 22^{o}C en donde el índice de asimilación disminuye con el aumento de temperatura.

El mayor valor del índice -en esta zona- (17 mg C (mg Cl $\underline{a}$)$^{-1}$h^{-1}) se obtuvo a la temperatura de 18.9^{o}C.

Figura 5.10.- Relación índice de asimilación- N:P.

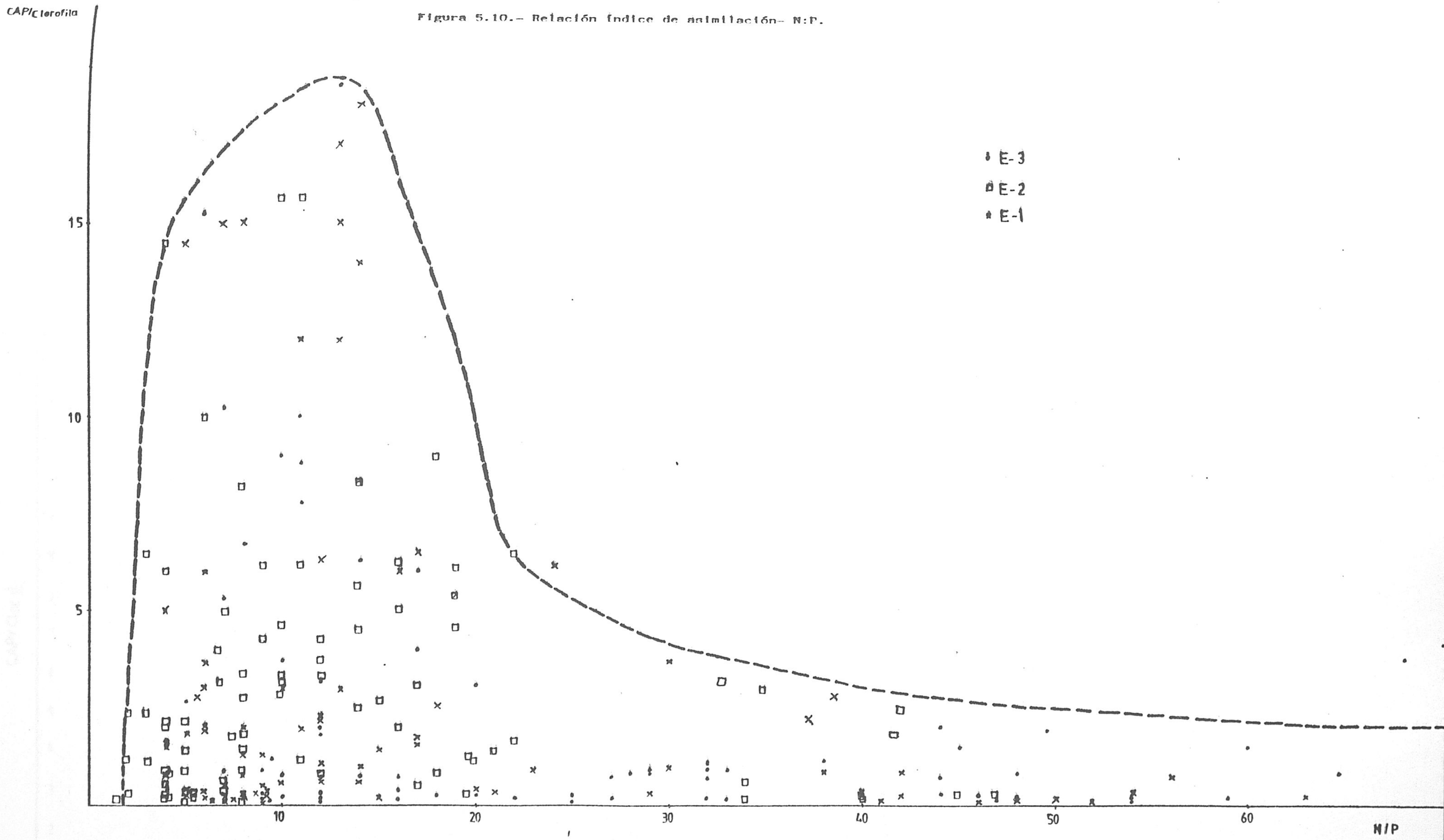
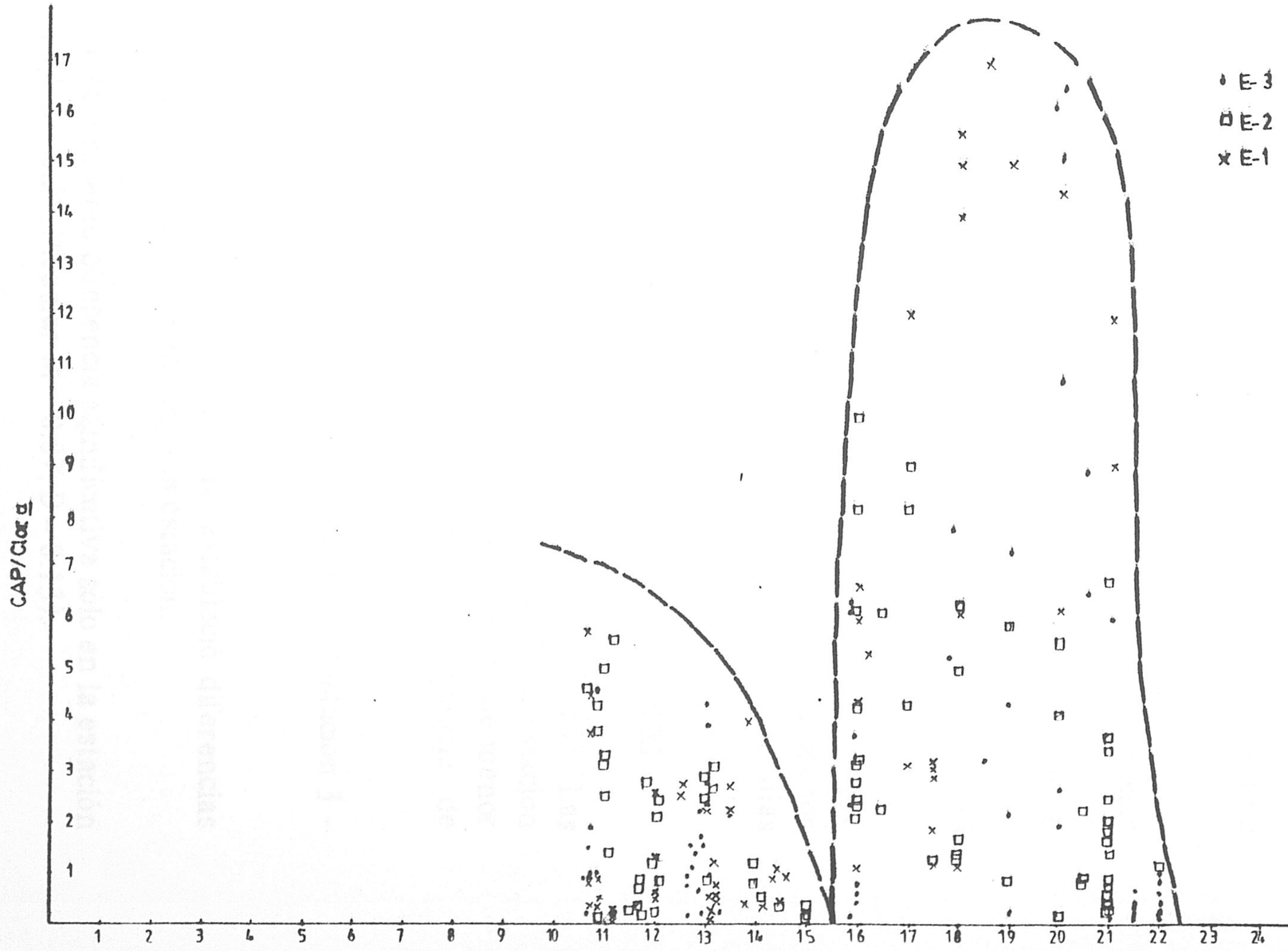


Figura 5.11.- Relación índice de asimilación- Temperatura.



5.5.- INDICE DE MARGALEF (D_{430}/D_{665})

En la figura 5.13, se muestra la distribución temporal del índice en cada estación. Los máximos puntuales se obtuvieron en la estación 1 en los meses de marzo (5.9) y junio (6.5) en el momento de marea de bajamar.

En los períodos de florecimiento el valor del índice fue bajo; así en marzo se dieron valores de 2.3 en la estación 3; en octubre 2.4 en la estación 1. Los valores medios se expresan en la Tabla 5.13.

En bajamar el índice fue más alto que en pleamar desde febrero a septiembre, durante el resto del año ocurrió lo contrario.

El análisis de la varianza (Tabla 5.14) no estableció diferencias entre las masas de agua. Con respecto al ciclo mareal, las estaciones 1 y 3 presentaron diferencia significativa entre bajamar y pleamar (figura 5.14.b); siendo el índice más alto en bajamar que en pleamar (E-3 bajamar = 3.2, pleamar = 2.84, E-1 bajamar = 3.11, pleamar = 2.81). En la estación 2 la diferencia no fue significativa.

En el ciclo anual aparecieron diferencias entre algunos meses, pero todos ellos estuvieron relacionados (figura 5.14.c), siendo la menor diferencia significativa dos a dos mayor que la diferencia de medias entre ellos.

5.6.- INDICE DE DIATOMEAS/DIATOMEAS+DINOFLAGELADOS

Estuvo comprendido entre 0.46 y 0.99, (figura 5.15). Las diatomeas dominaron prácticamente durante todo el año. En la estación 1, el índice presentó mayor variación y generalmente siempre fue menor en las estaciones 2 y 3. Esto indica una mayor abundancia de dinoflageladas en la estación más externa.

En junio presentó los menores valores, en toda la ría (estación 3 = 0.46; estación 2 = 0.58, estación 1 = 0.57).

El análisis de la varianza (Tabla 5.15) no estableció diferencias significativas entre las masas de agua en ninguna estación.

El ciclo mareal presentó diferencia significativa sólo en la estación 3 (Bajamar M = 0.77, D = 0.27; Pleamar M = 0.87, D = 0.13).

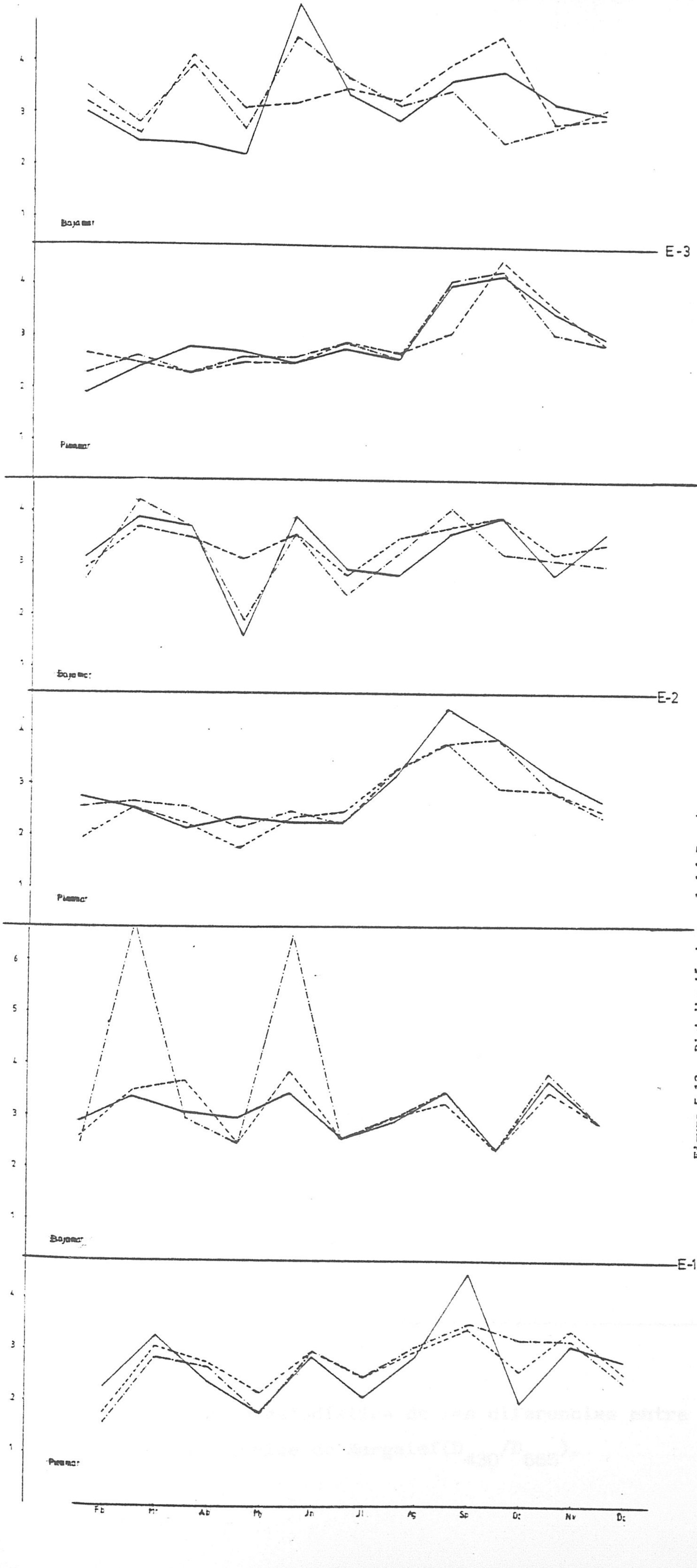


Figura 5.13.- Distribución temporal del D_{430}/D_{665} en las tres estaciones de muestreo y en los dos momentos de marea (Bajamar y Pleamar).

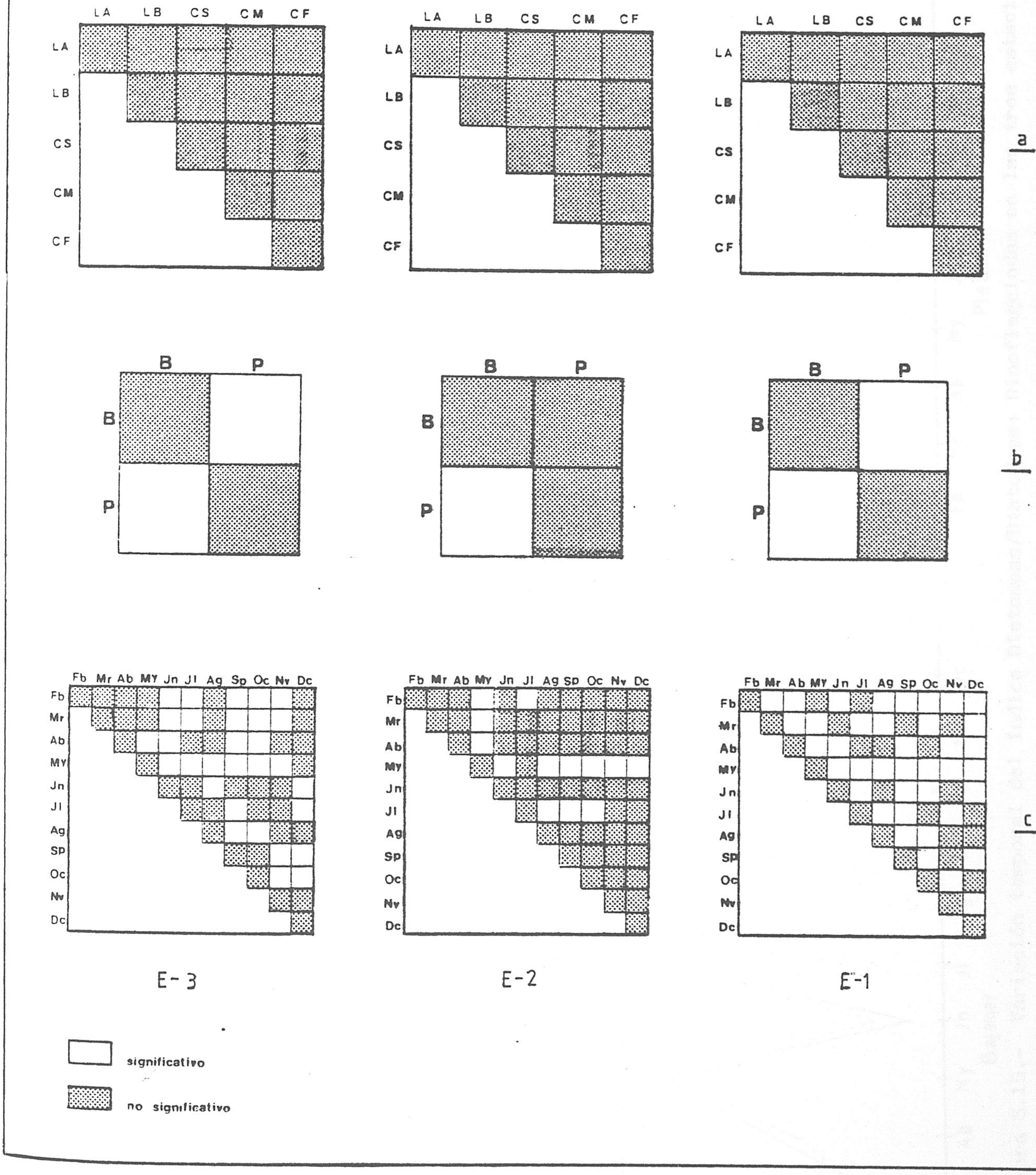


Figura 5.14.- Significación estadística de las diferencias entre los valores medios del índice de Margalef(D_{430}/D_{665}).

Figura 5.15.- Variación temporal del índice Diatomeas/Diatomeas+ Dinoflageladas en las tres estaciones de muestreo y en los momentos de marea de bajamar y de pleamar.

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$1.32.10^{-2}$	$3.29.10^{-3}$	1.82
Meses de muestreo	10	0.16	$1.597.10^{-2}$	8.82 *
Error masas de agua	40	$7.24.10^{-2}$	$1.8.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	1	$0.86.10^{-2}$	$4.86.10^{-2}$	12.64 *
Masas de agua por ciclo	4	$7.54.10^{-3}$	$1.88.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	50	0.19	$3.84.10^{-3}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$3.10.10^{-2}$	$7.76.10^{-3}$	1.05
Meses de muestreo	10	0.26	$2.59.10^{-2}$	3.52 *
Error masas de agua	40	0.29	$7.37.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	1	$1.31.10^{-3}$	$1.31.10^{-3}$	0.12
Masas de agua por ciclo	4	$1.48.10^{-2}$	$3.71.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	50	0.53	$1.05.10^{-2}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$3.51.10^{-3}$	$8.77.10^{-4}$	0.43
Meses de muestreo	10	0.34	$3.39.10^{-2}$	16.62 *
Error masas de agua	40	$8.18.10^{-2}$	$2.05.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	1	$2.78.10^{-2}$	$2.78.10^{-2}$	9.27 *
Masas de agua por ciclo	4	0.02	$5.22.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	50	0.15	$3.00.10^{-3}$	

G.L. : Grados de libertad

S.C. : Suma de cuadrados

C.M. : Cuadrados medios

* : Significativo

Tabla 5.14. Análisis de la varianza. D_{430}/D_{665}

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$6.48.10^{-3}$	$1.62.10^{-3}$	1.7
Meses de muestreo	10	0.19	$1.89.10^{-2}$	20.1 *
Error masas de agua	40	$3.77.10^{-2}$	$9.44.10^{-4}$	
Momentos del ciclo mareal	1	$2.20.10^{-2}$	2.20	8.99 *
Masas de agua por ciclo	4	$6.38.10^{-3}$	$1.59.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	50	0.12	$2.45.10^{-3}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$1.08.10^{-2}$	$2.69.10^{-3}$	2.45
Meses de muestreo	10	0.13	$1.28.10^{-2}$	11.64 *
Error masas de agua	40	$4.41.10^{-2}$	$1.10.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	1	$1.34.10^{-2}$	$1.34.10^{-2}$	2.8
Masas de agua por ciclo	4	$3.75.10^{-3}$	$9.38.10^{-4}$	
Error mto. del ciclo	50	0.24	$4.79.10^{-3}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$1.99.10^{-3}$	$4.98.10^{-4}$	0.61
Meses de muestreo	10	0.16	$1.56.10^{-2}$	19.2 *
Error masas de agua	40	$3.24.10^{-2}$	$8.11.10^{-4}$	
Momentos del ciclo mareal	1	$8.02.10^{-3}$	$8.02.10^{-3}$	1.19
Masas de agua por ciclo	4	$3.24.10^{-3}$	$8.09.10^{-4}$	
Error mto. del ciclo	50	0.34	$6.70.10^{-3}$	

Tabla 5.15. Análisis de la varianza. Diatomeas/diatomeas + Dinoflageladas.

En el ciclo anual, junio y julio presentaron significación respecto a los demás.

Las medias y coeficientes de dispersión se muestran en la Tabla 5.16.

5.7.- DIVERSIDAD (H) Y UNIFORMIDAD (J)

Los índices de diversidad y uniformidad mostraron una evolución paralela. En las figuras 5.16 y 5.17 se muestra la evolución anual de ambos índices.

Durante los meses de febrero, abril y mayo el índice de diversidad fue alto (M = 3 bits/cel). A partir de junio y durante el resto del año los valores de los índices disminuyeron. En los períodos de mayor biomasa fitoplanctónica se obtuvieron los mínimos (marzo 1.5 bits/cel; junio 1.6 bits/cel), lo cual nos indica la dominancia de una o pocas especies. Los bajos valores obtenidos a partir de agosto, fueron debidos a la presencia de organismos nanoplanctónicos que llegaron a representar más de 70-80% de la población en algunos casos (figura 5.2).

El análisis estadístico de la varianza nos dio los siguientes resultados (Tabla 5.17).

-En ninguna de las tres estaciones muestreadas se obtuvo nivel de significación con respecto a las masas de agua, por lo tanto se puede considerar homogeneidad entre las medias de las masas de agua.

-El ciclo mareal presentó diferencia significativa en la estación 3 entre bajamar (M = 2.18 bits/célula, D = 0.87) y pleamar (M = 2.65 bits/célula, D = 0.8); mientras que en las estaciones 1 y 2 se pueden aceptar las hipótesis de igualdad entre medias.

-En el ciclo anual, en las tres estaciones apareció un bloque homogéneo de meses, aunque a veces pudo existir heterogeneidad entre ellos. Los meses de febrero, marzo, abril y mayo presentaron la diversidad mayor. En las estaciones 2 y 3 el resto de los meses aparecieron agrupados con un índice de diversidad bajo.

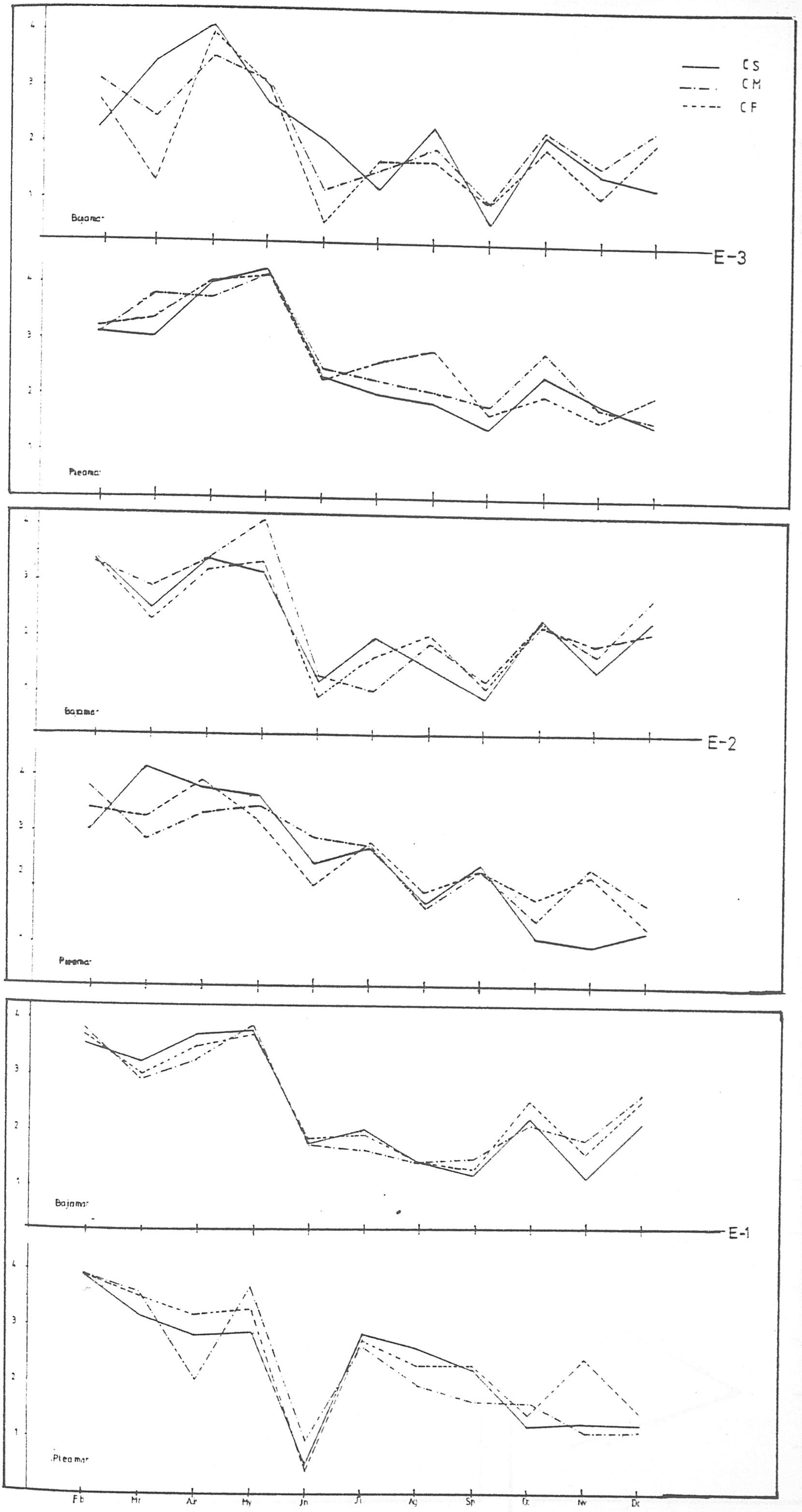


Figura 5.16.- Variación temporal del índice de Diversidad en las tres estaciones de muestreo y en los momentos de marea de bajamar y de pleamar.

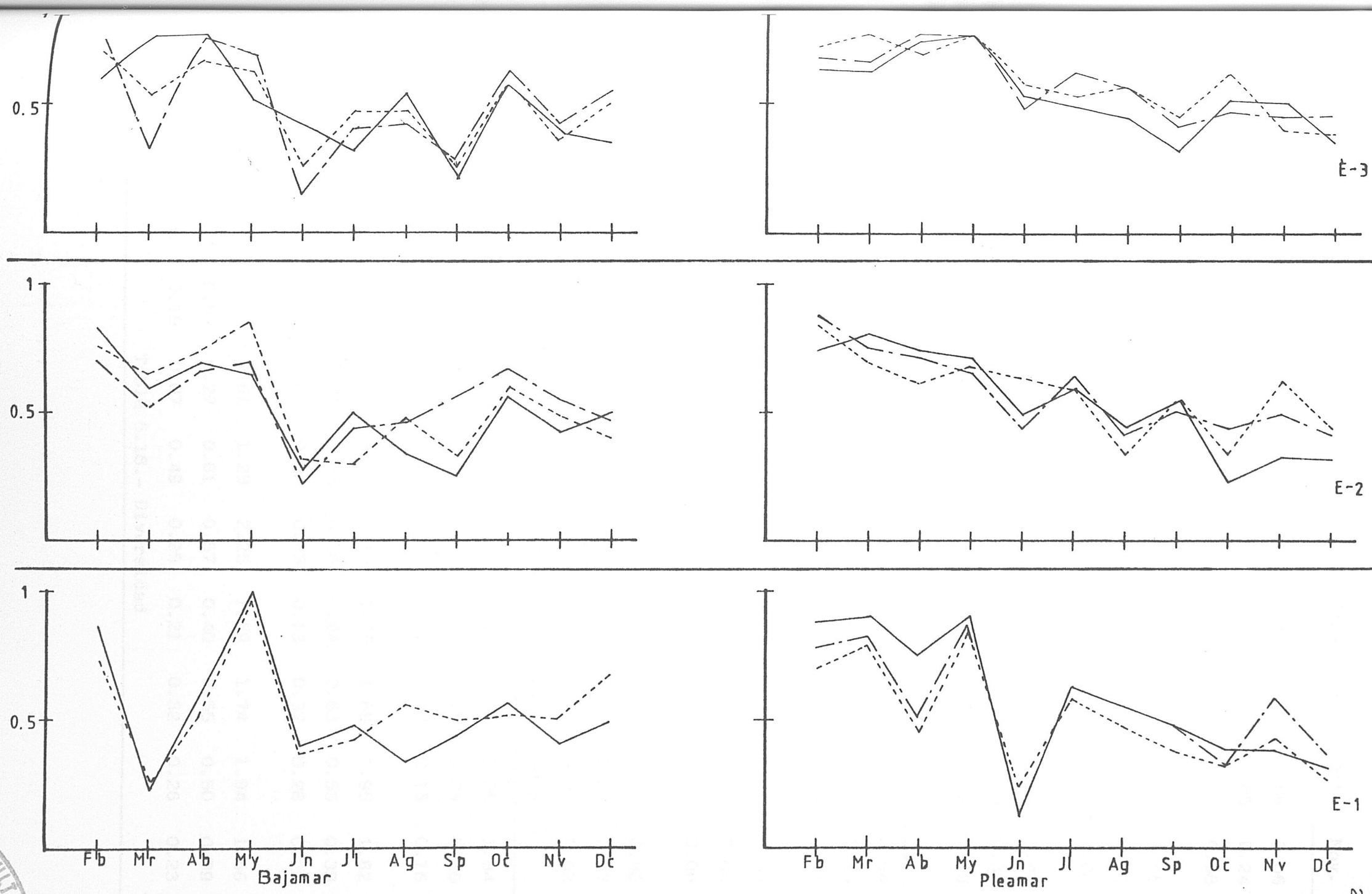


Figura 5.17.- Variación temporal del índice de uniformidad en las tres estaciones de muestreo y en los momentos de marea de bajamar y de pleamar. (--- CS; - - -CM; ---CF).

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA

MEDIAS Y DISPERSIONES

		Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
E-3	M	2.66	2.61	2.95	2.55	3.41	3.25	2.92	3.68	3.59	3.06	2.86
	D	0.52	0.17	0.64	0.25	0.99	0.49	0.31	0.37	0.85	0.24	0.35
	D/M	0.19	0.07	0.22	0.10	0.29	0.15	0.11	0.10	0.24	0.08	0.12
E-2	M	4.77	3.14	3.09	2.27	3.27	2.63	3.41	3.83	3.83	3.16	3.11
	D	5.78	0.58	0.59	0.51	0.78	0.31	0.56	0.38	0.89	0.26	0.53
	D/M	1.20	0.18	0.19	0.22	0.24	0.12	0.16	0.09	0.23	0.08	0.17
E-1	M	2.24	3.50	2.86	2.20	3.52	2.54	3.10	3.69	2.68	3.44	2.79
	D	0.47	0.82	0.34	0.39	1.08	0.26	0.19	0.38	0.60	0.31	0.21
	D/M	0.21	0.23	0.12	0.18	0.31	0.10	0.06	0.10	0.22	0.09	0.07

Tabla 5.13.- D_{430}/D_{665}

E-3	M	0.81	0.84	0.78	0.99	0.46	0.97	0.77	0.62	0.94	0.94	0.93
	D	0.10	0.10	0.18	0.02	0.25	0.03	0.22	0.29	0.03	0.10	0.05
	D/M	0.12	0.12	0.23	0.02	0.54	0.03	0.29	0.47	0.03	0.11	0.05
E-2	M	0.80	0.71	0.75	0.96	0.58	0.96	0.65	0.74	0.73	0.94	0.91
	D	0.09	0.26	0.18	0.03	0.39	0.02	0.19	0.24	0.24	0.06	0.04
	D/M	0.11	0.37	0.24	0.03	0.67	0.02	0.29	0.32	0.33	0.06	0.04
E-1	M	0.80	0.57	0.64	0.94	0.57	0.96	0.66	0.75	0.75	0.90	0.85
	D	0.07	0.31	0.12	0.06	0.41	0.02	0.31	0.22	0.23	0.07	0.03
	D/M	0.09	0.54	0.19	0.06	0.70	0.02	0.47	0.29	0.31	0.08	0.03

Tabla 5.16.- Indice Diatomeas/Diatomeas + Dinoflageladas

E-3	M	3.00	2.87	3.89	3.48	1.97	1.98	2.15	1.65	2.28	1.64	1.91
	D	0.32	0.66	0.19	0.52	0.58	0.41	0.34	0.79	0.29	0.26	0.33
	D/M	0.11	0.23	0.05	0.15	0.29	0.21	0.16	0.48	0.13	0.16	0.17
E-2	M	3.36	3.15	3.44	3.45	1.77	2.19	1.85	1.69	1.95	1.82	1.92
	D	0.32	0.55	0.36	0.34	0.75	0.54	0.24	0.63	0.55	0.39	0.52
	D/M	0.09	0.17	0.10	0.09	0.42	0.25	0.13	0.37	0.28	0.21	0.27
E-1	M	3.61	3.22	3.07	3.61	1.23	2.25	1.89	1.74	1.94	1.66	1.93
	D	0.31	0.47	0.59	0.27	0.61	0.57	0.40	0.55	0.50	0.39	0.64
	D/M	0.09	0.15	0.19	0.07	0.49	0.25	0.21	0.32	0.26	0.23	0.33

Tabla 5.18.- Diversidad

E-3

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$1.146.10^{-2}$	$2.865.10^{-3}$	0.909
Meses de muestreo	10	0.88	$8.81.10^{-2}$	27.96
Error masas de agua	40	0.126	$3.151.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	1	$9.335.10^{-2}$	$9.335.10^{-2}$	22.54
Masas de agua por ciclo	4	$3.133.10^{-2}$	$7.832.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	50	0.2071	$4.142.10^{-3}$	

E-2

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$9.26.10^{-3}$	$2.315.10^{-3}$	0.71
Meses de muestreo	10	0.922	$9.216.10^{-2}$	28.22
Error masas de agua	40	0.131	$3.27.10^{-3}$	
Momentos del ciclo mareal	1	$7.659.10^{-3}$	$7.659.10^{-3}$	0.903
Masas de agua por ciclo	4	$1.892.10^{-2}$	$4.73.10^{-3}$	
Error mto. del ciclo	50	0.424	$8.48.10^{-3}$	

E-1

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F
Masas de agua	4	$5.08.10^{-3}$	$1.27.10^{-3}$	0.558
Meses de muestreo	10	1.23	0.123	54.12
Error masas de agua	40	$9.09.10^{-2}$	$1.404.10^{-2}$	
Momentos del ciclo mareal	1	$1.404.10^{-2}$	$1.404.10^{-2}$	1.4
Masas de agua por ciclo	4	$1.511.10^{-3}$	$3.776.10^{-4}$	
Error mto. del ciclo	50	0.500	$1.0001.10^{-2}$	

G.L. : Grados de libertad

S.C. : Suma de cuadrados

C.M. : Cuadrados medios

Tabla 5.17. Análisis de la varianza. Diversidad.

En la estación 1, junio y julio presentaron diferencia significativa respecto a agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

Los valores medios y dispersiones se expresan en la Tabla 5.18.

5.8.- CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES BIOLOGICAS

Después de realizar la transformación logarítmica (log(x+1)), siendo x el valor de cada variable, se obtuvo la matriz de correlación, Tabla 5.19.

El estudio de correlaciones para todas las estaciones agrupadas mostró que la concentración de clorofila a está correlacionada positivamente con el número de células (r = 0.65) y con el carbono asimilado particulado (CAP) (r = 0.532). El aumento de biomasa supone un aumento de la asimilación de carbono.

El número total de células se correlacionó negativamente con el índice de diversidad (r = -0.61) y el de uniformidad (-0.548).

El índice de diversidad (H') presentó un coeficiente de correlación alto con el de uniformidad (J) (r = 0.841). Correlaciones negativas las obtuvo con el CAP (r = -0.33) y el índice de asimilación (-0.235).

El índice de Margalef (D_{430}/D_{665}) presentó correlación negativa con H', J y Diatomeas/Dinof. y positiva con la biomasa y el índice de asimilación.

En la figura 5.19 se muestra un diagrama de las correlaciones significativas.

Al analizar las estaciones separadamente se obtuvieron resultados similares, Tabla 5.20. Es decir, el patrón de correlaciones no se altera en sentido espacial dentro de la zona estudiada del estuario. Lo mismo sucede con las correlaciones entre las variables ambientales.

Según las correlaciones obtenidas entre las variables biológicas, las comunidades con mayor biomasa y producción presentaron una diversidad menor debido al aumento de alguna especie o grupo que dominan en abundancia, produciendo cambios de uniformidad.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Cl *a*	1.00							
2 $D_{430/D_{665}}$	-.01	1.00						
3 Abundancia	.65	.22	1.00					
4 H'	-.25	-.27	-.61	1.00				
5 J	-.27	-.23	-.55	.84	1.00			
6 Diato/Dino	-.29	-.33	-.20	.17	.21	1.00		
7 CAP	.53	.13	.51	-.33	-.28	-.23	1.00	
8 CAP/Cl *a*	-.10	.21	.15	-.24	-.18	-.05	.76	1.00

Tabla 5.19.- Matriz de correlación entre los parámetros biológicos (todas las estaciones).

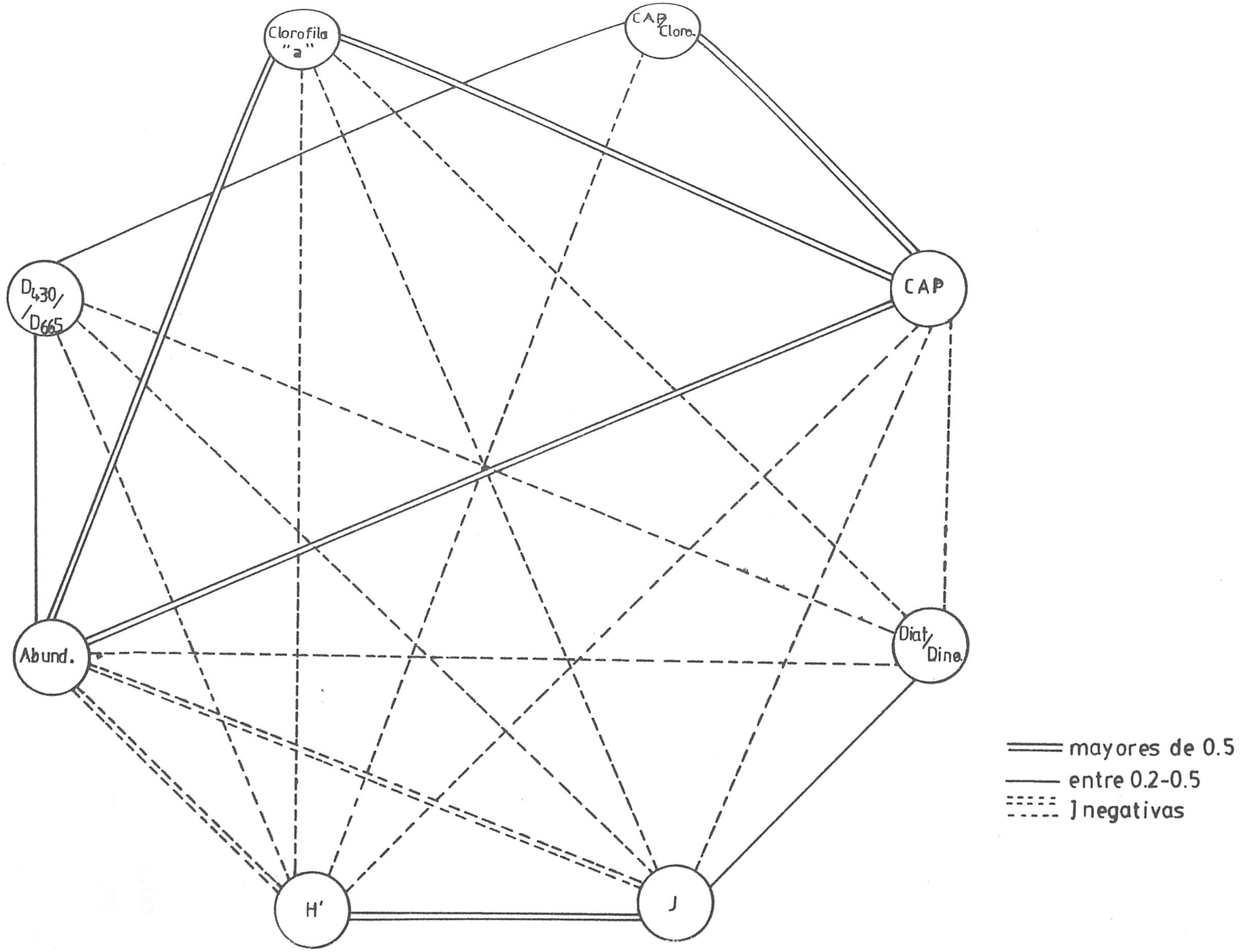


Figura 5.19.- Correlaciones significativas obtenidas entre los parámetros biológicos en el tratamiento conjunto de los datos (E-3, E-2, E-1, en los dos momentos de marea de bajamar y pleamar).

		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Cl a	1.00							
2	D_{430}/D_{665}	-.13	1.00						
3	Abundancia	.62	.34	1.00					
4	H'	-.21	-.40	-.56	1.00				
5	J	-.29	-.38	-.59	.88	1.00			
6	Diato/Dino	-.31	-.30	-.27	.25	.32	1.00		
7	CAP	.39	.23	.35	-.30	-.33	-.32	1.00	
8	CAP/Cl a	-.13	.36	.07	-.22	-.19	-.11	.83	1.00

E - 3

		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Cl a	1.00							
2	D_{430}/D_{665}	-.04	1.00						
3	Abundancia	.62	.09	1.00					
4	H'	-.29	-.22	-.63	1.00				
5	J	-.31	-.14	-.62	.95	1.00			
6	Diato/Dino	-.33	-.34	-.25	.28	.32	1.00		
7	CAP	.44	.15	.50	-.28	-.24	-.24	1.00	
8	CAP/Cl a	-.24	.25	.12	-.16	-.09	-.06	.74	1.00

E - 2

		1	2	3	4	5	6	7	8
1	CL a	1.00							
2	D_{430}/D_{665}	.09	1.00						
3	Abundancia	.70	.30	1.00					
4	H'	-.29	-.28	-.64	1.00				
5	J	-.23	-.22	-.47	.74	1.00			
6	Diato/Dino	-.29	-.39	-.12	.02	.07	1.00		
7	CAP	.78	.02	.68	-.39	-.28	-.13	1.00	
8	CAP/Cl a	.14	.01	.32	-.36	-.27	.05	.71	1.00

E - 1

Tabla 5.20.- Matriz de correlación entre los parámetros biológicos (por estaciones).

5.9.- ANALISIS MULTIVARIANTE

Las variables biológicas fueron sometidas al análisis estadístico multivariante de componentes principales. Las variables utilizadas fueron: índice de diversidad (H'), índice de uniformidad (J), índice Diatomeas/Diatomeas + Dinoflageladas, índice de Margalef (D_{430}/D_{665}), clorofila "a", número de células (abundancia), CAP e índice de asimilación. Se realizó un primer análisis para detectar las principales tendencias de variación en sentido longitudinal, es decir, espacial desde la estación 1 a 3. Por otra parte, se realizaron otros tres análisis, uno por cada estación.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

5.9.1.- Principales tendencias de variación en la ría de Mogro

La información de partida la constituyeron los valores de las 8 variables biológicas obtenidas en las 330 muestras analizadas a lo largo del ciclo, previa transformación logarítmica (log(x+1)).

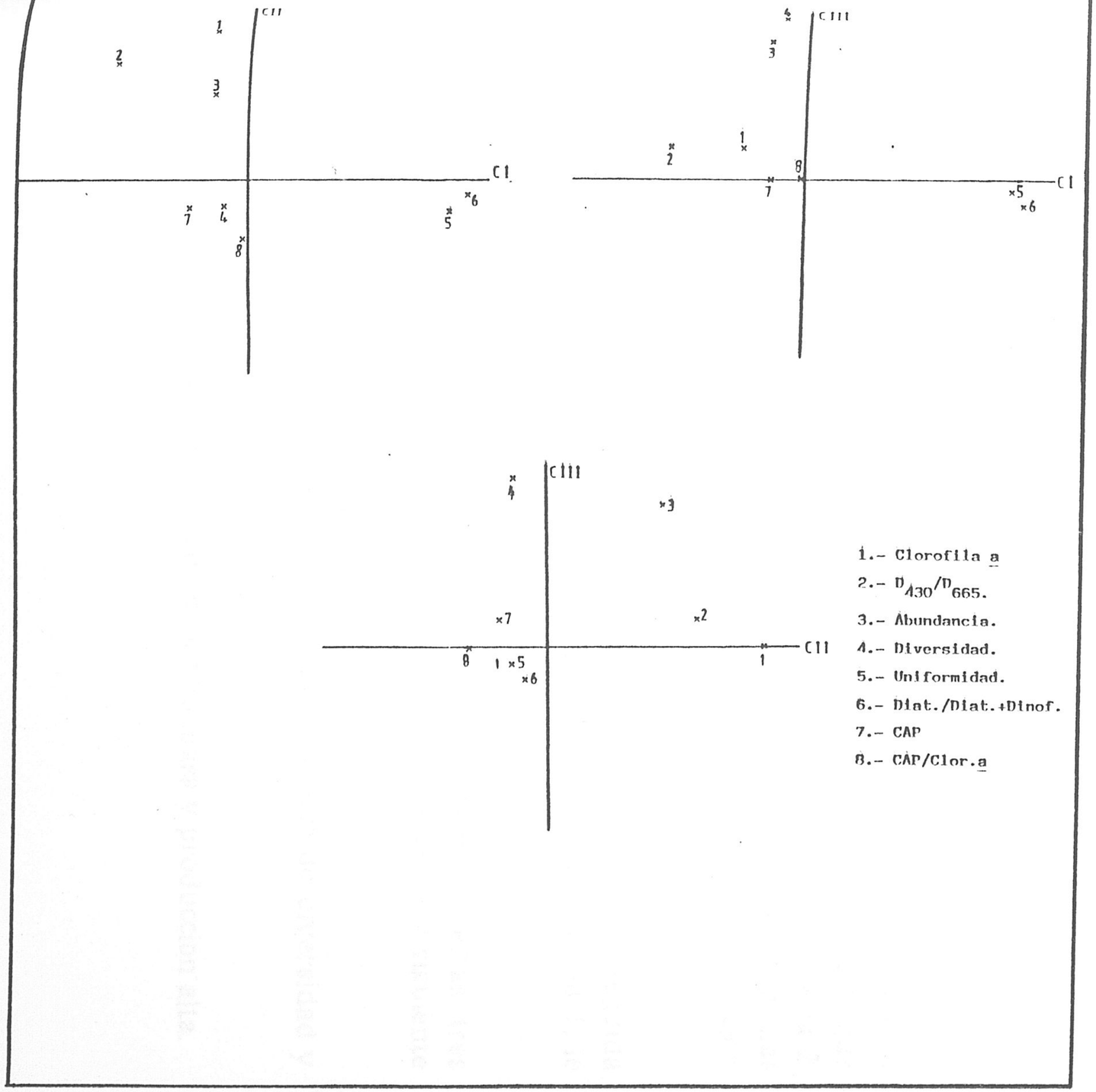
El análisis de componentes principales seleccionó cuatro componentes que absorbieron el 87.2% del total de la información obtenida. La disposición de las variables en el plano de las componentes se muestra en la figura 5.20.

Una vez efectuada la rotación varimax las siguientes variables presentaron valores altos de saturación con el primer componente:

-Diversidad (0.928).
-Indice de uniformidad (0.913).

Este primer componente (CI) (que absorbió el 41.2% de la varianza total) presentó fuertes correlaciones positivas con variables que indican la estructura de la comunidad. Presentó valores positivos en los meses de febrero, marzo, abril, mayo y octubre bajamar y negativos durante el resto del año. La evolución anual de este componente se muestra en la figura 5.21.

El segundo componente (CII) explicó el 17% de la varianza total. Presentó una buena correlación positiva con las variables de biomasa ((Clorofila a (0.95) y con la abundancia (0.636)). Se puede identificar como un eje de biomasa. En la figura 5.21 se presenta la evolución anual de este componente. Presentó valores positivos en la floración de



1.- Clorofila a
2.- D_{430}/D_{665}.
3.- Abundancia.
4.- Diversidad.
5.- Uniformidad.
6.- Diat./Diat.+Dinof.
7.- CAP
8.- CAP/Clor.a

Figura 5.20.- Posición de las variables biológicas según los planos definidos por CI y CII; CI y CIII; CII y CIII en el ACP realizado sobre el conjunto de los datos.

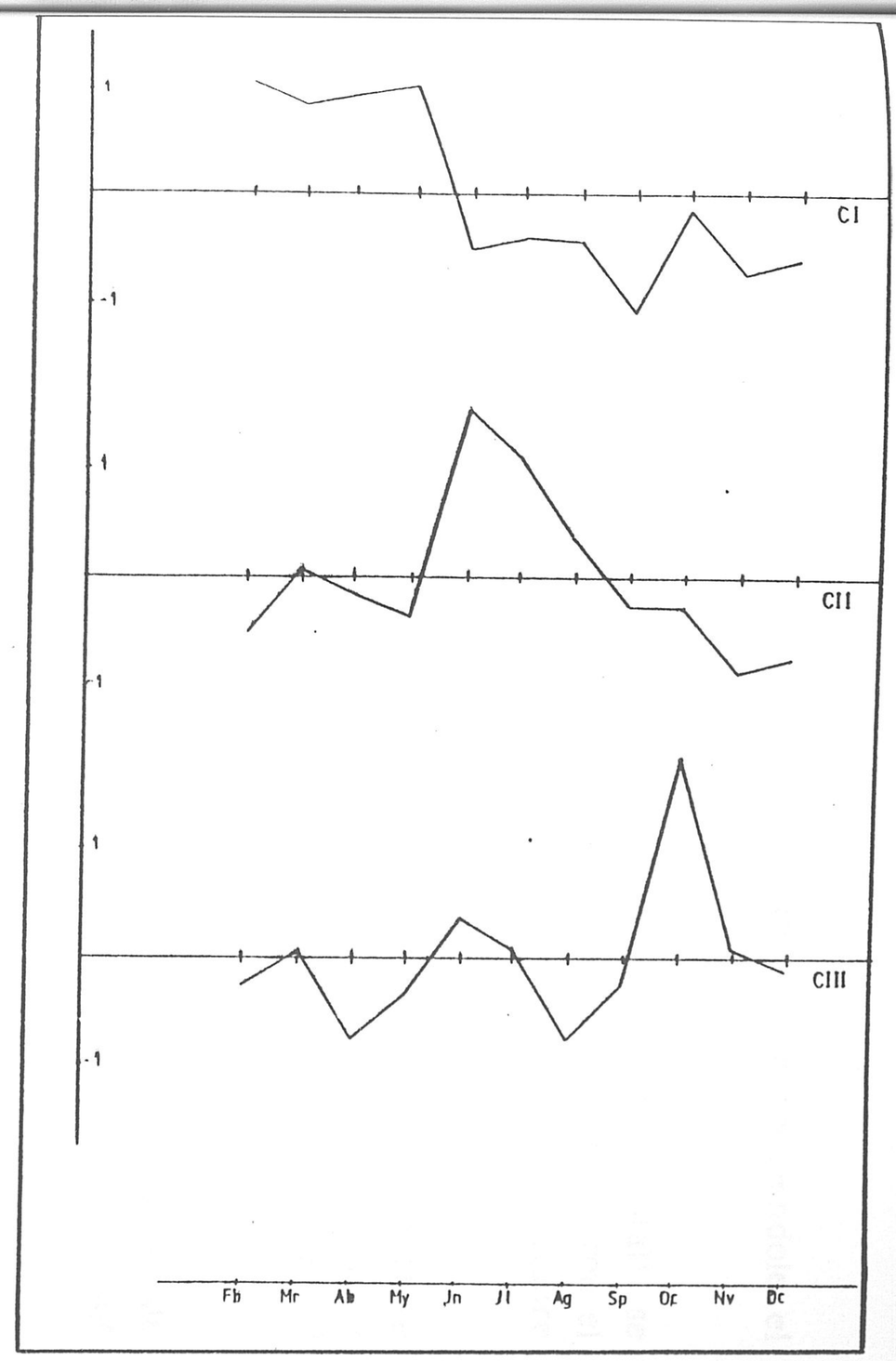


Figura 5.21.- Evolución temporal de los valores de saturación de los Componentes Principales

primavera (marzo) y en los meses de verano, correspondiéndole el máximo valor al mes de junio.

El componente III (CIII) (15% de la varianza total) se correlacionó positivamente con el índice de asimilación (0.97) y con el carbono asimilado (0.83). Presentó sus máximos en los meses de octubre seguido de junio y marzo (figura 5.21).

El componente IV (CIV) que absorbió el 13.6% de la varianza se correlacionó positivamente con el índice de diatomeas/diatomeas + dinoflageladas y negativamente con el índice de Margalef (D_{430}/D_{665}) (-0.8).

Así pues, reducimos las tendencias de variación de los datos de partida, a cuatro que explican el 87.2% de la variación total, que por orden de importancia, de explicación de dicha varianza total, son:

-Estructura de la comunidad.
-Biomasa.
-Producción primaria.
-Etapa sucesional.

Calculamos el valor medio de los componentes en cada estación de muestreo y sus coordenadas relativas. Para el CI la estación que presentó un valor más alto fue la 1 seguida de la estación 3 y de la 2. Este eje nos indica la estructura y organización de la comunidad. Las estaciones 1 y 3 presentan comunidades más organizadas que la estación intermedia.

Para el CII, la que alcanzó mayor valor fue la estación 3, seguida de la 1 y de la 2. El CIII presentó mayores valores en la estación 1, le siguió la estación 2 y después la 3.

Representadas las estaciones en el subespacio de estas tres componentes principales (figura 5.22) quedan clasificadas de la siguiente forma:

Estación 1: la más productiva, con mayor índice de diversidad y poca biomasa.

Estación 2: Menor diversidad, menor biomasa y producción alta.

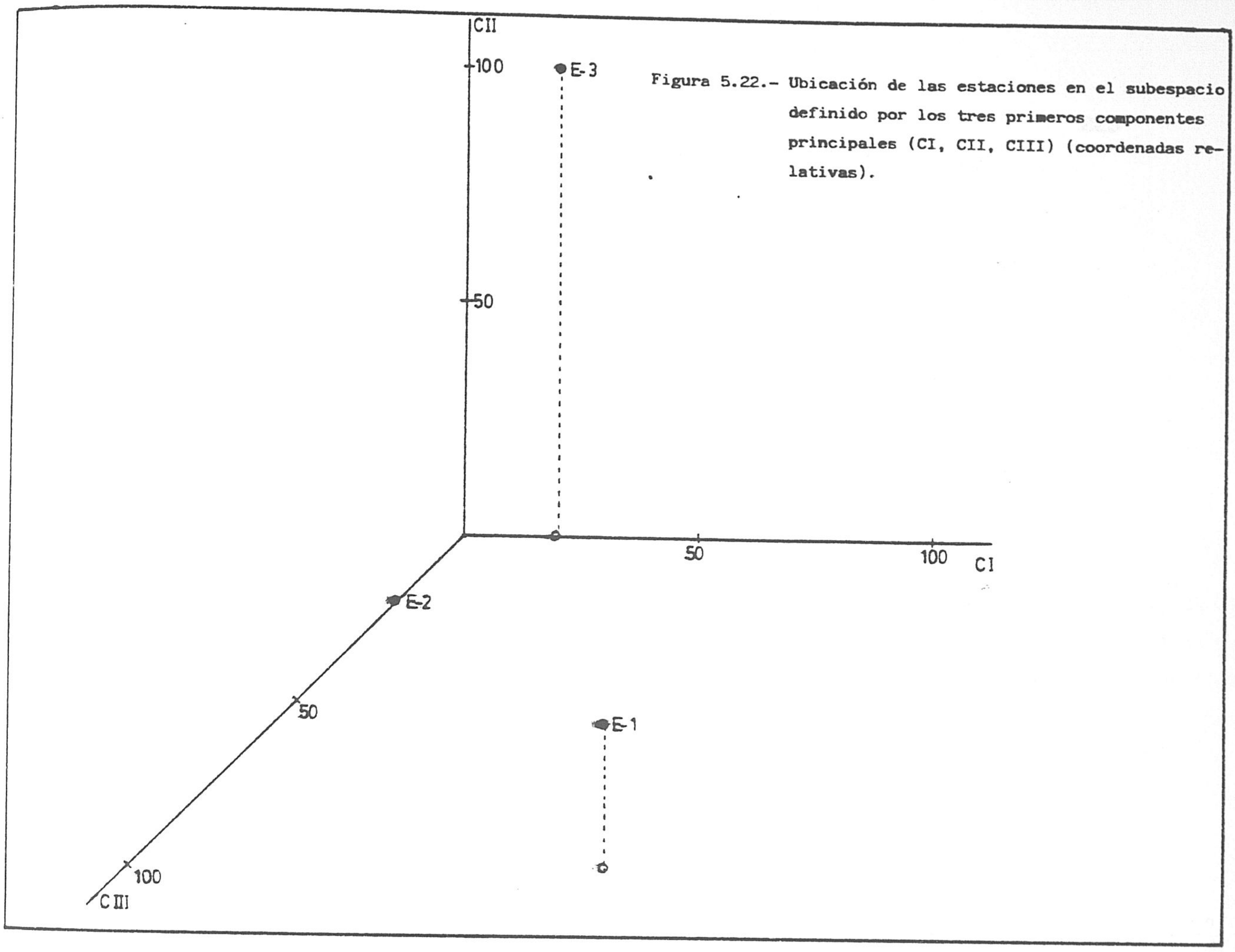


Figura 5.22.- Ubicación de las estaciones en el subespacio definido por los tres primeros componentes principales (CI, CII, CIII) (coordenadas relativas).

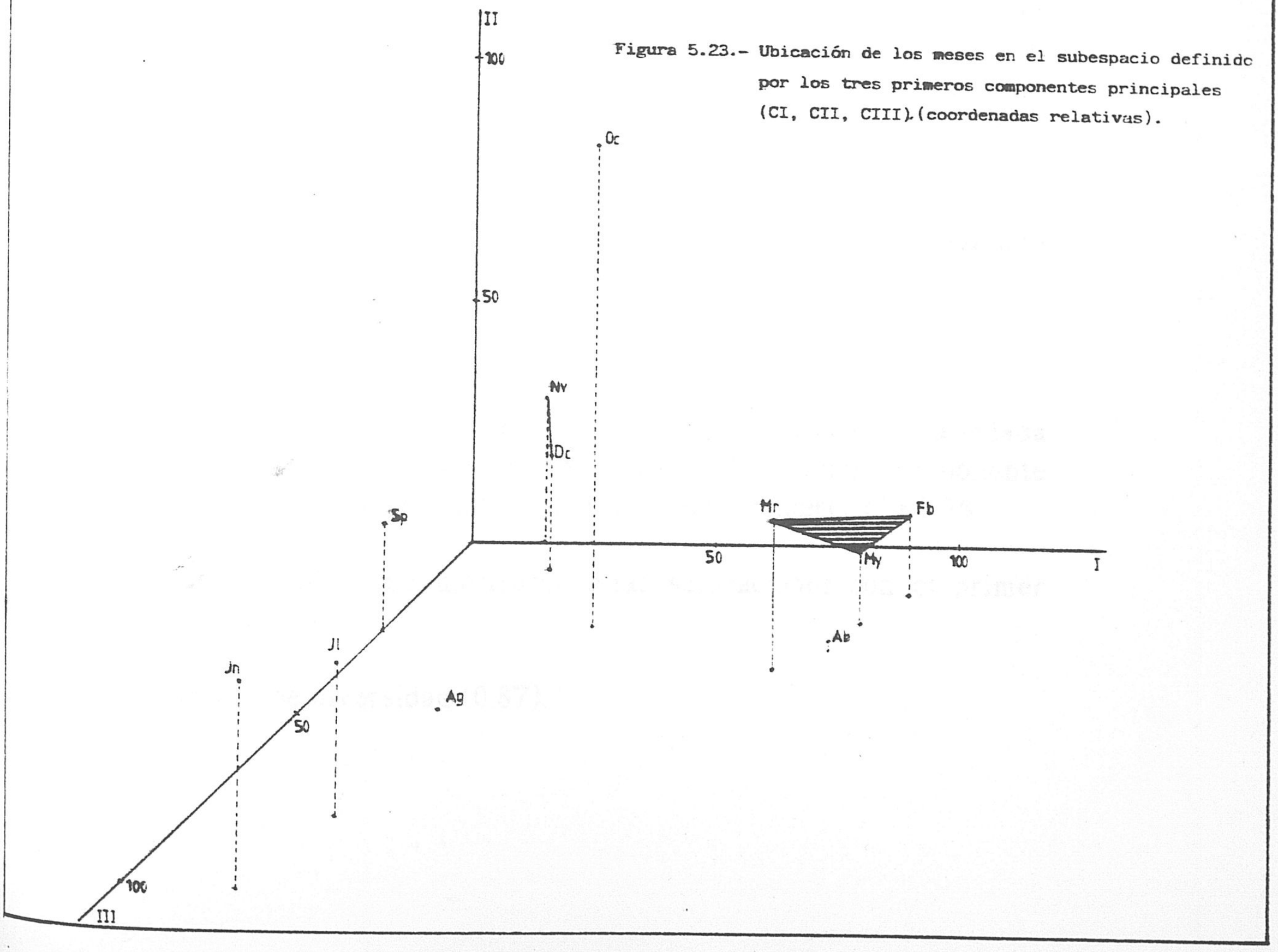


Figura 5.23.- Ubicación de los meses en el subespacio definido por los tres primeros componentes principales (CI, CII, CIII).(coordenadas relativas).

Estación 3: Mayor biomasa, poca diversidad y menos productiva.

Al representar las coordenadas relativas mensuales de la saturación de las muestras en el subespacio definido por los tres componentes, nos separa los muestreos (figura 5.23) según:

-Muestreos de alta diversidad, baja biomasa y baja producción: febrero, abril y mayo.

-Muestreos de elevada diversidad, elevada producción y biomasa intermedia: marzo y octubre.

-Muestreos de baja diversidad, alta producción y elevada biomasa: junio y julio.

-Muestreos de elevada biomasa, baja producción y baja diversidad: agosto.

-Muestreos de baja diversidad, baja biomasa y elevada producción: septiembre, noviembre y diciembre.

5.9.2.- Principales tendencias de variación en cada estación

Para destacar en cada estación de muestreo las principales fuentes de variación se realizaron 3 análisis de componentes principales. La información de partida la constituyeron los datos de las variables estudiadas durante los 22 muestreos, efectuados a lo largo del ciclo de muestreo, en los estados de marea de pleamar y bajamar.

Los resultados obtenidos en las distintas estaciones se presentan a continuación:

5.9.2.1.-Estación 3

En la figura 5.24, se indica el porcentaje de variación acumulada por los 3 primeros componentes principales. El primer componente absorbió el 42.6% de la varianza original y los dos primeros el 62.3%.

Las variables que mostraron altas saturaciones con el primer componente fueron:

-Indice de diversidad (0.87).

-Indice de uniformidad (0.84).

Este componente coincide con el que se obtuvo al realizar el análisis de los datos conjuntamente. Su evolución anual se muestra en la figura 5.25. Presentó valores positivos en los meses de febrero, marzo, abril, mayo y octubre y negativos durante el resto del año.

Las variables que presentaron las más altas correlaciones con el segundo eje principal fueron las siguientes:

-Con valores positivos:

-Clorofila a (0.96)
-Número de células (0.68)

-Con valores negativos:

-Indice Diatomeas/Diatomeas + Dinoflageladas (-0.4).

Las variables que gobernaron el segundo eje principal hacen referencia a la biomasa.

La evolución anual de este componente siguió el mismo ciclo que el descrito en la biomasa, con sus mayores valores en marzo y en los meses de verano.

En la figura 5.26 se obtiene la ordenación de las muestras en el espacio definido por los dos primeros componentes principales. Al trazar un tercer eje aparecen separadas las muestras de verano y de mayor biomasa de las de invierno y menor biomasa.

El componente III absorbió el 15.4% y se correlacionó positivamente con el índice de asimilación (0.96) y el CAP (0.89). Su evolución anual se muestra en la figura 5.25. Presentó el valor más alto en octubre, mes donde se presentaron los mayores valores de asimilación. Es un eje de producción.

La ordenación de las muestras sobre este eje, figura 5.27, muestra la estratificación en la producción (ver las correspondientes a noviembre y diciembre). Generalmente los mayores valores corresponden a las muestras de superficie y disminuyen hacia el fondo. Sin embargo, en los muestreos en los que la intensidad luminosa en

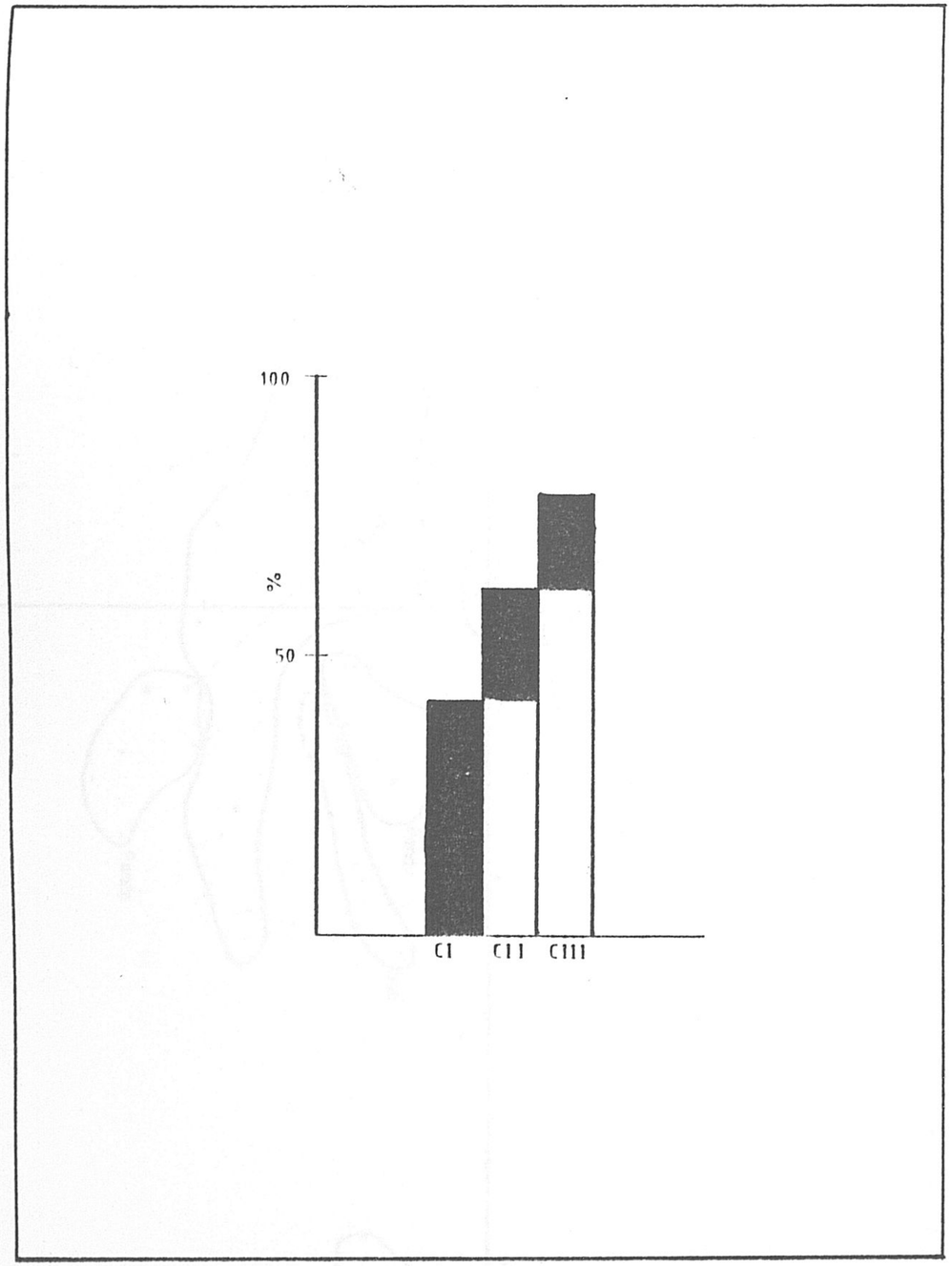


Figura 5.24.- Porcentaje de varianza acumulada por los tres primeros componentes en E-3 (variables biológicas)

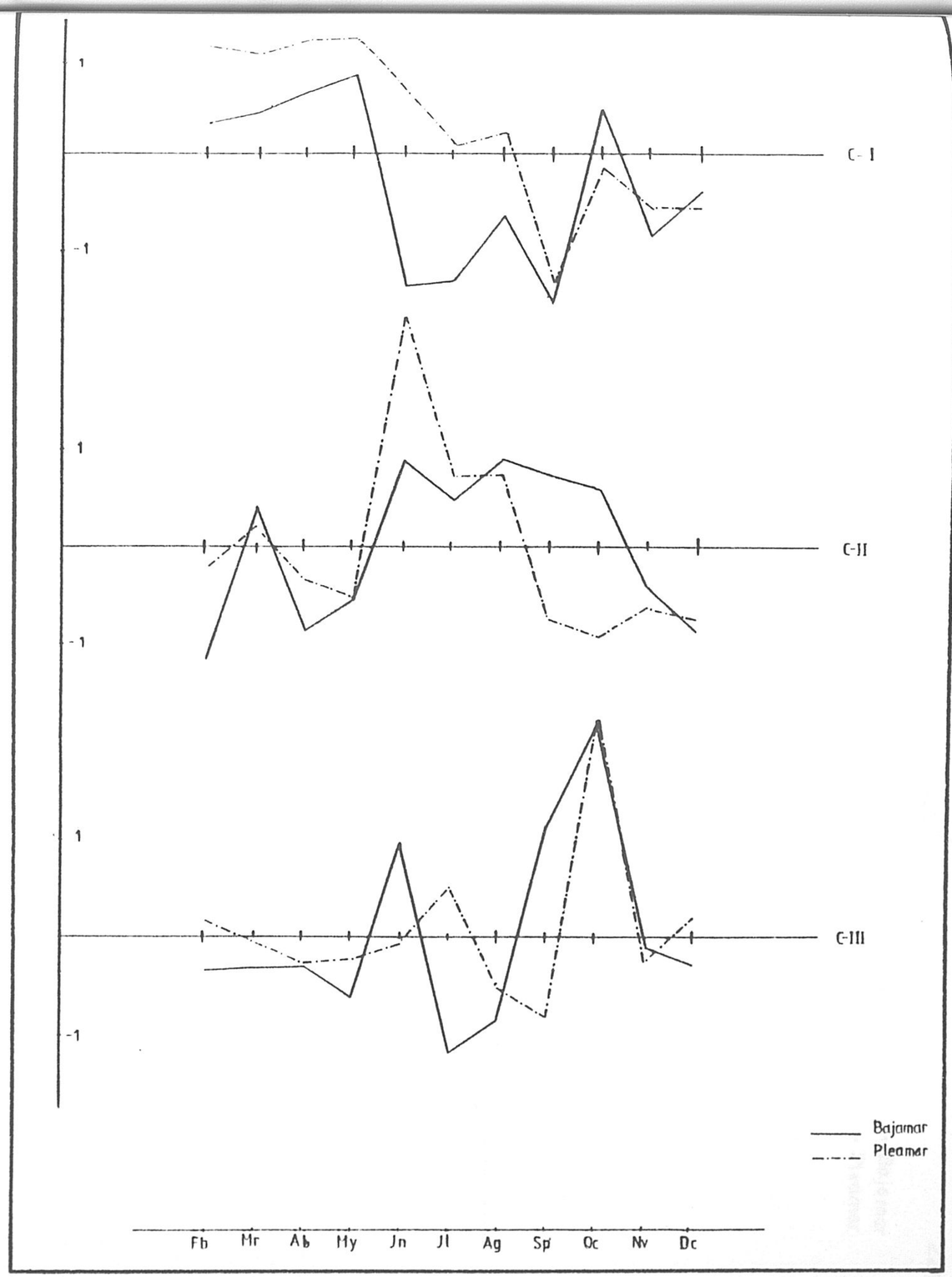


Figura 5.25.-Evolución temporal de los valores de saturación de los Componentes Principales en E-3 (valores medios).

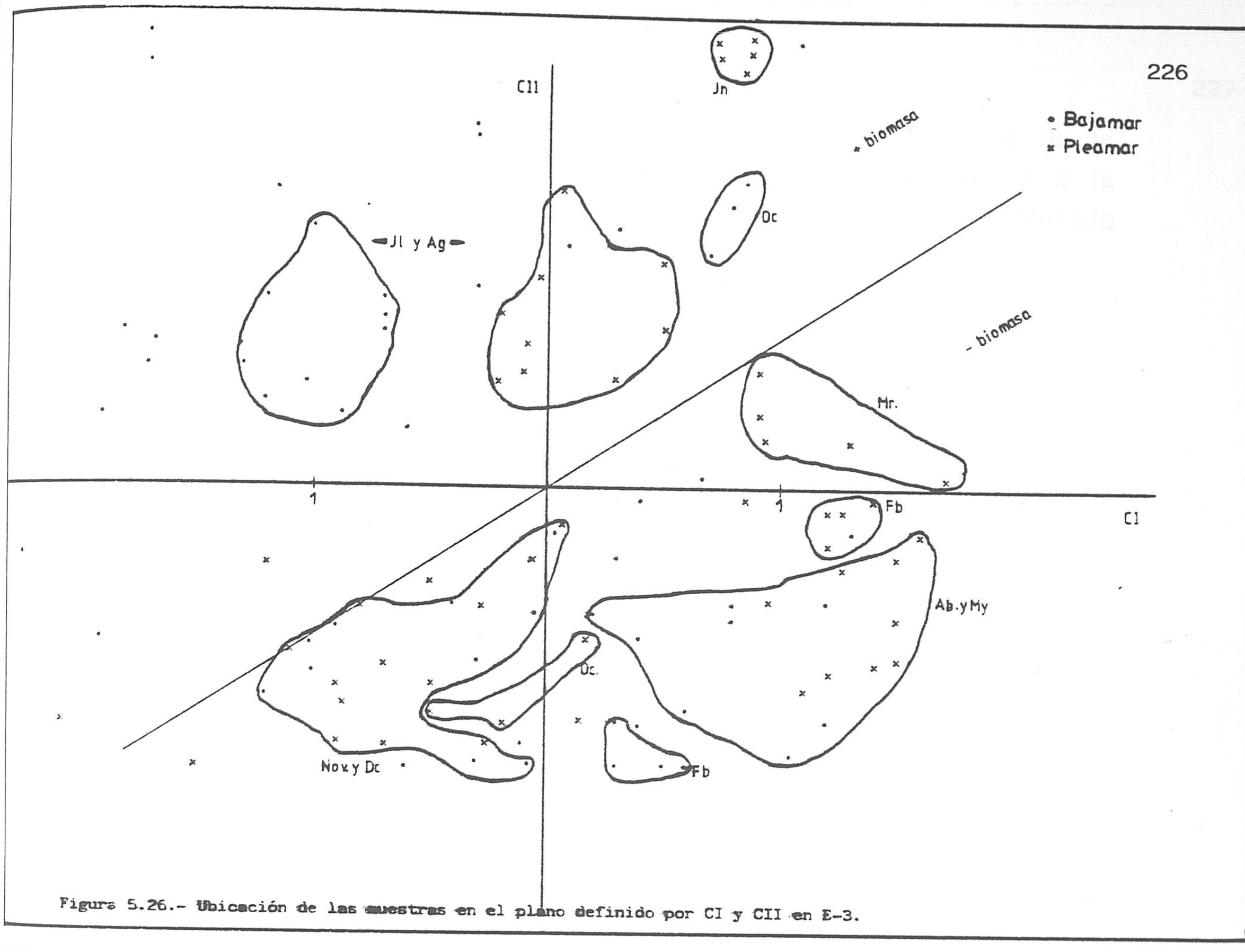


Figura 5.26.- Ubicación de las muestras en el plano definido por CI y CII en E-3.

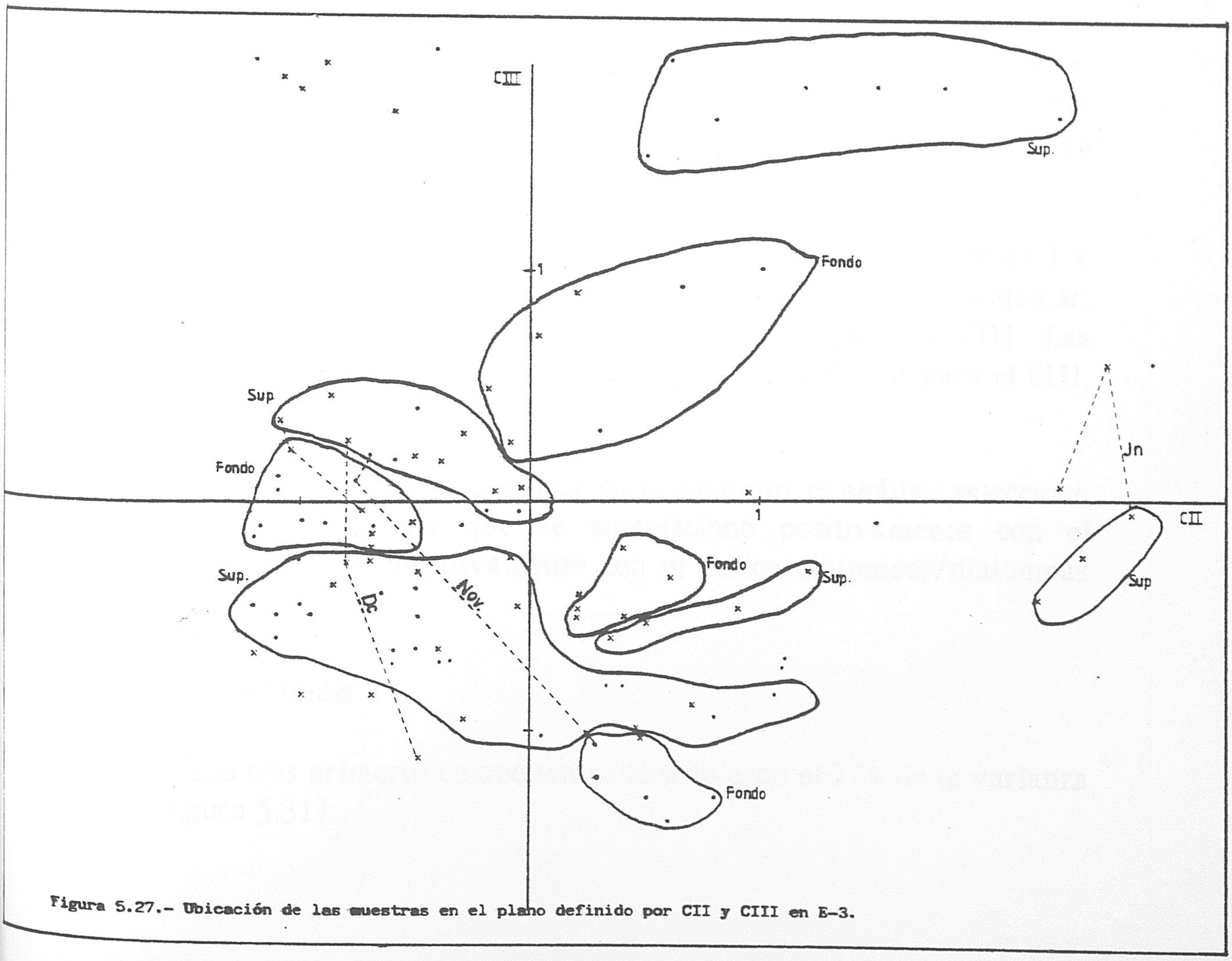


Figura 5.27.- Ubicación de las muestras en el plano definido por CII y CIII en E-3.

superficie fue lo suficientemente alta para producir inhibición de la fotosintesis, los valores máximos sobre el eje correspondieron a la profundidad media (junio). Este eje puede ser por lo tanto, interpretado como de estimulación-inhibición de la producción por la luz.

5.9.2.2.-Estación 2

El análisis seleccionó cuatro ejes o componentes.

En la figura 5.28 se muestra la varianza acumulada en tantos por ciento de la original que absorbieron los cuatro ejes principales.

El primer componente (CI) explicó por sí solo el 41.4% de la varianza total, se correlacionó positivamente con la diversidad (0.96) y el índice de uniformidad (0.95). Coincide plenamente con el encontrado en la estación 3 y en el análisis conjunto de datos.

La segunda dirección de variación estuvo gobernada por el índice de asimilación (0.95) y el CAP (0.87). Este eje ganó en importancia frente al de la estación 3 ya que pasó a ser la segunda tendencia de variación. La evolución anual se muestra en la figura 5.29.

El tercer componente extrajo el 14.7% de la varianza y presentó correlación positiva con la abundancia (0.61), clorofila a (0.94). Es un eje de biomasa (presentó los mayores valores en marzo y en verano, figura 5.29).

Al representar las muestras en el plano de las componentes I y III (figura 5.30), se separan las muestras de pleamar de las de bajamar, quedando las de pleamar con valores negativos para el CIII. Las muestras de julio en pleamar presentaron valores positivos para el CIII, en este mes la biomasa fue alta.

En esta estación, al igual que en el conjunto, el análisis seleccionó otro cuarto componente que se correlacionó positivamente con el D_{430}/D_{665} (0.83) y negativamente con el índice diatomeas/diatomeas -dinoflageladas.

5.9.2.3.- Estación 1

Los tres primeros componentes absorbieron el 77% de la varianza total (figura 5.31).

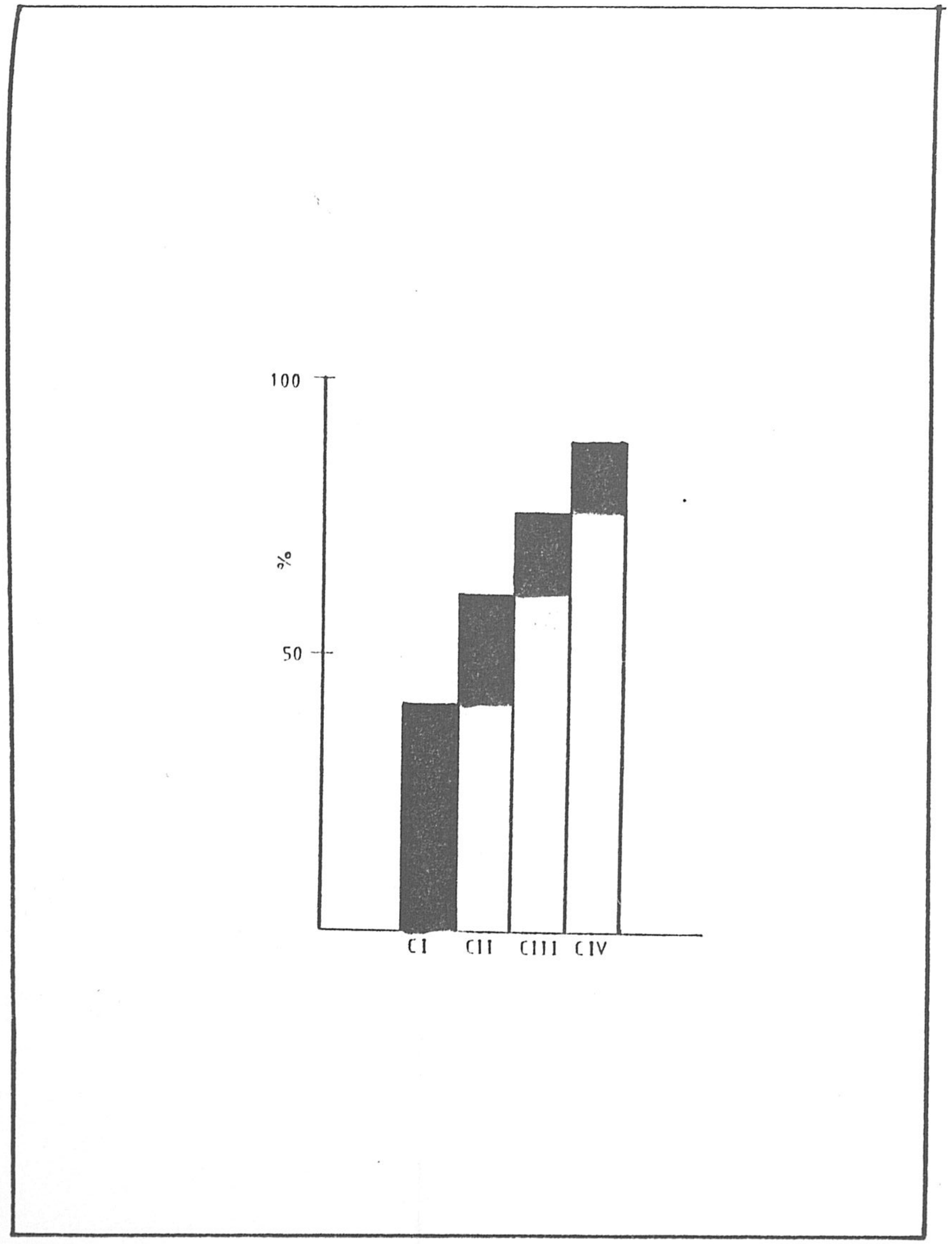


Figura 5.28.- Porcentaje de varianza acumulada por los cuatro primeros componentes en E-2 (variables biológicas)

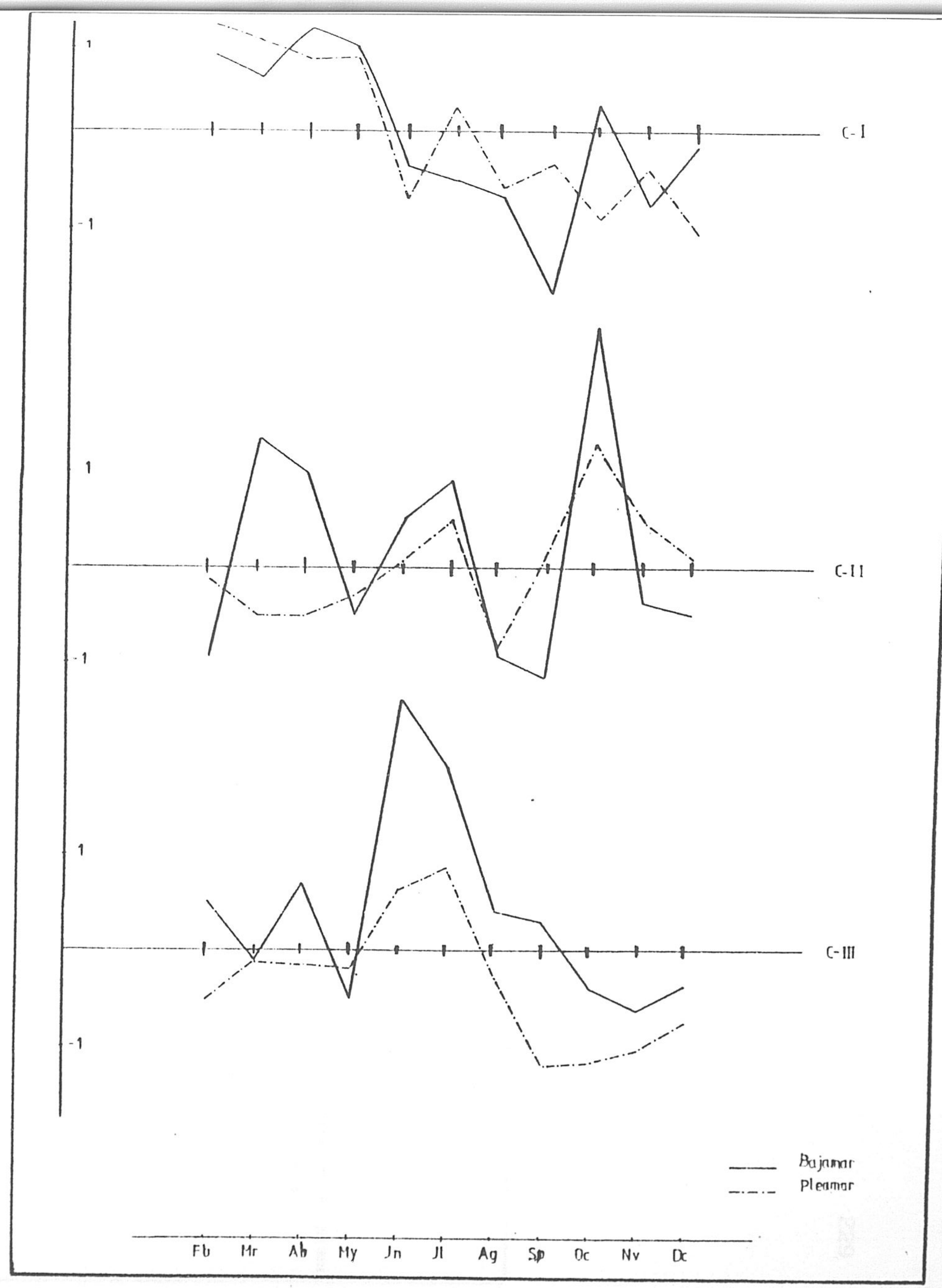


Figura 5.29.- Evolución temporal de los valores de saturación de los Componentes Principales en E-2 (valores medios).

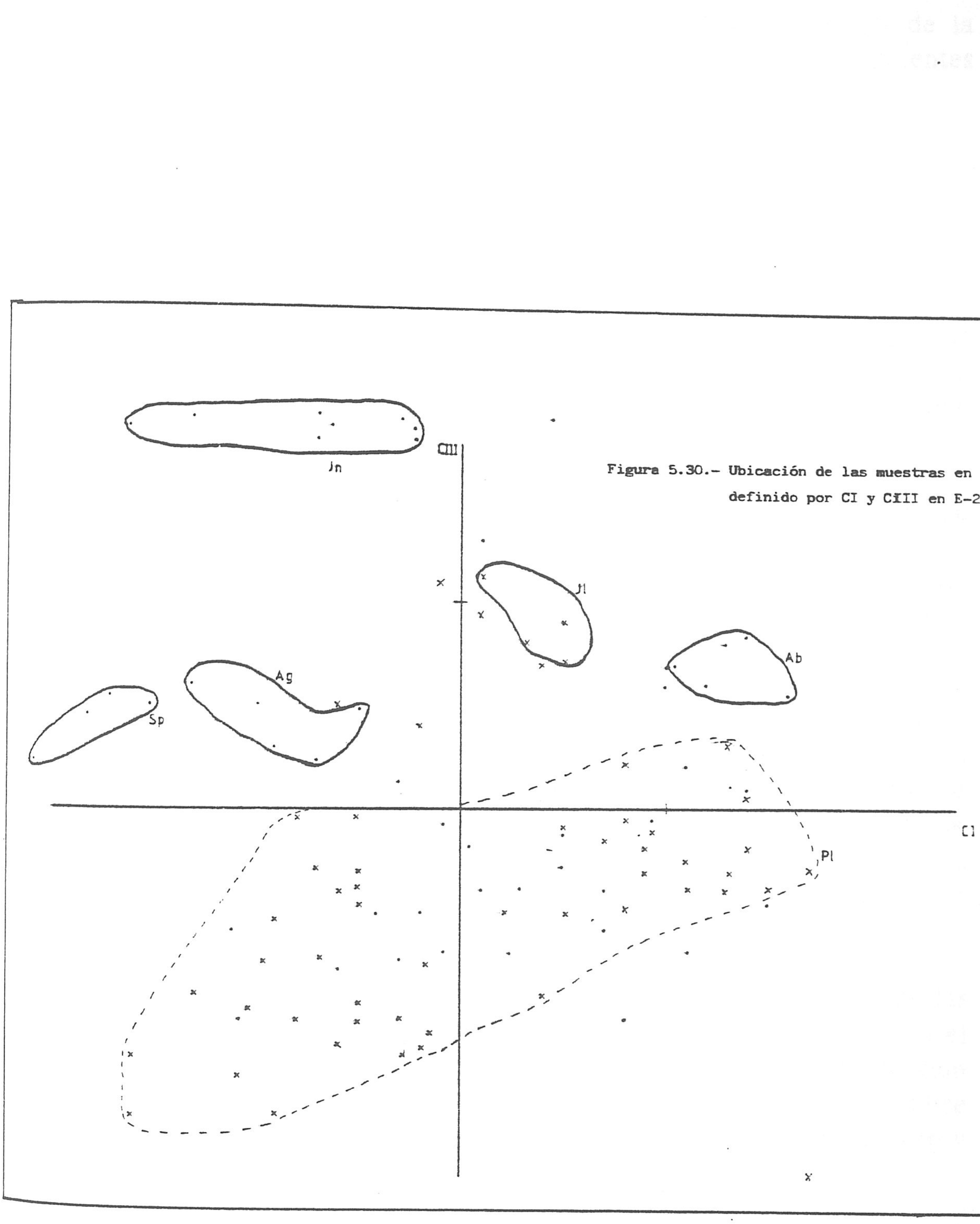


Figura 5.30.- Ubicación de las muestras en el plano definido por CI y CIII en E-2.

El primer componente que por sí solo explicó el 43.5% de la varianza original presentó fuertes correlaciones con las siguientes variables (figura 5.32):

-CAP (0.96).
-Clorofila a (0.85).
-Número de células (0.69).
-Indice de asimilación (0.57).

Este componente varió totalmente respecto a los análisis de las estaciones 2 y 3. En esta estación las variables correlacionadas con el CI, presentaron fuertes correlaciones entre sí (Tabla 5.20.c) de manera que la producción estuvo íntimamente ligada a la biomasa.

Las variables que gobernaron el segundo componente están relacionadas con la organización o estructura de la comunidad. La diversidad (0.89) y el índice de uniformidad (0.86) fueron las variables que presentaron los mayores valores de saturación con este componente que explicó el 18% de la variación original.

El tercer componente (CIII) se correlacionó positivamente con el índice diatomeas/diatomeas+dinoflageladas (0.82) y negativamente con el índice de Margalef (-0.73). Para este componente los muestreos de pleamar (excepto los de abril y agosto) tomaron valores positivos, mientras que los de bajamar, excepto los de julio y octubre, fueron negativos. En la figura 5.33 se muestra la evolución anual de los componentes en esta estación.

Calculadas las coordenadas relativas de las saturaciones de las muestras respecto a los componentes principales y representadas en el subespacio definido por los tres componentes (figura 5.34), la ordenación de los muestreos reveló que los correspondientes a junio, julio y octubre (bajamar), fueron los de mayor biomasa y producción y los de febrero y noviembre bajamar los de menor biomasa y producción.

Los muestreos que presentaron mayor diversidad fueron febrero y mayo y los de menor diversidad junio pleamar.

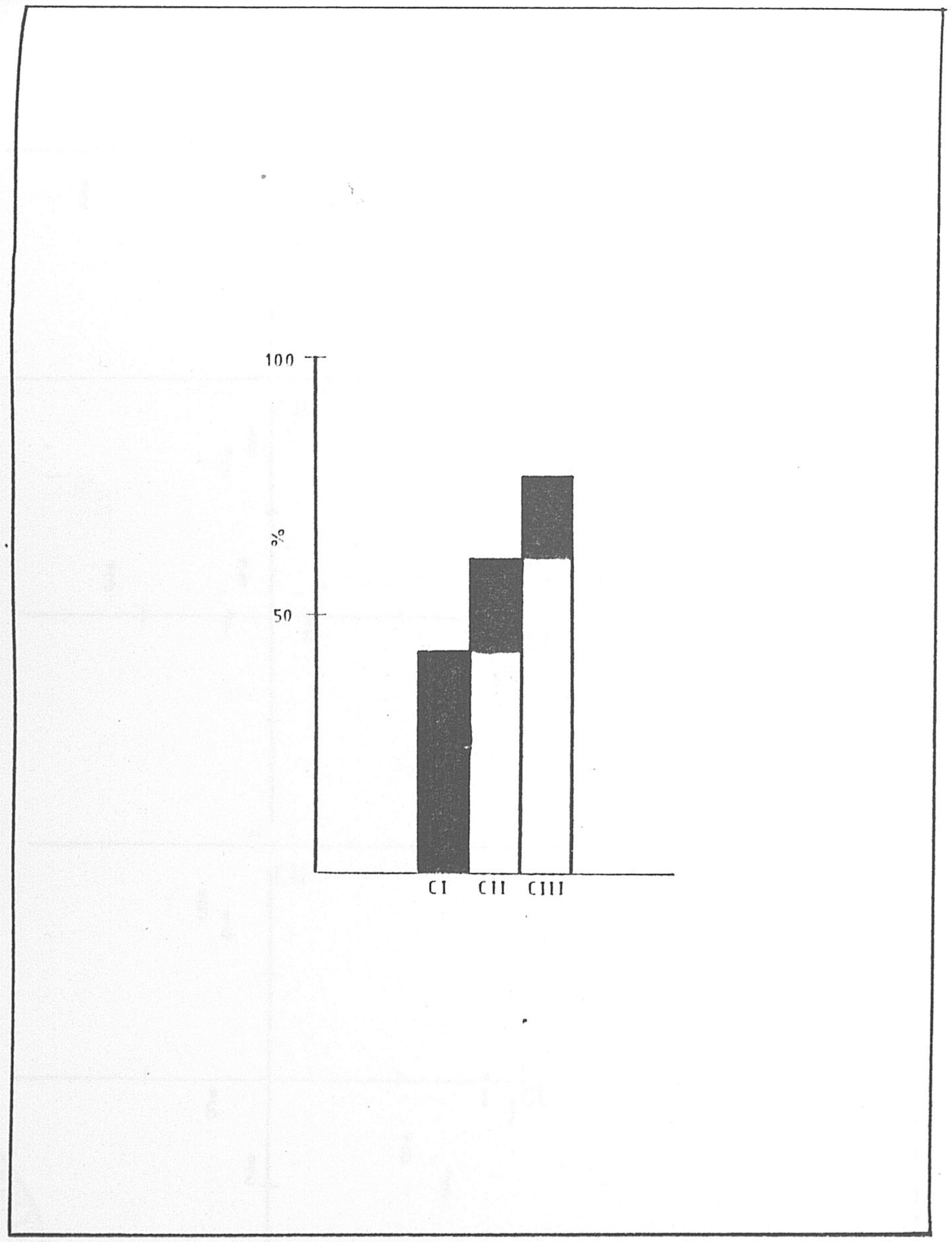


Figura 5.31.- Porcentaje de varianza acumulada por los tres primeros componentes en E-1 (variables biológicas)

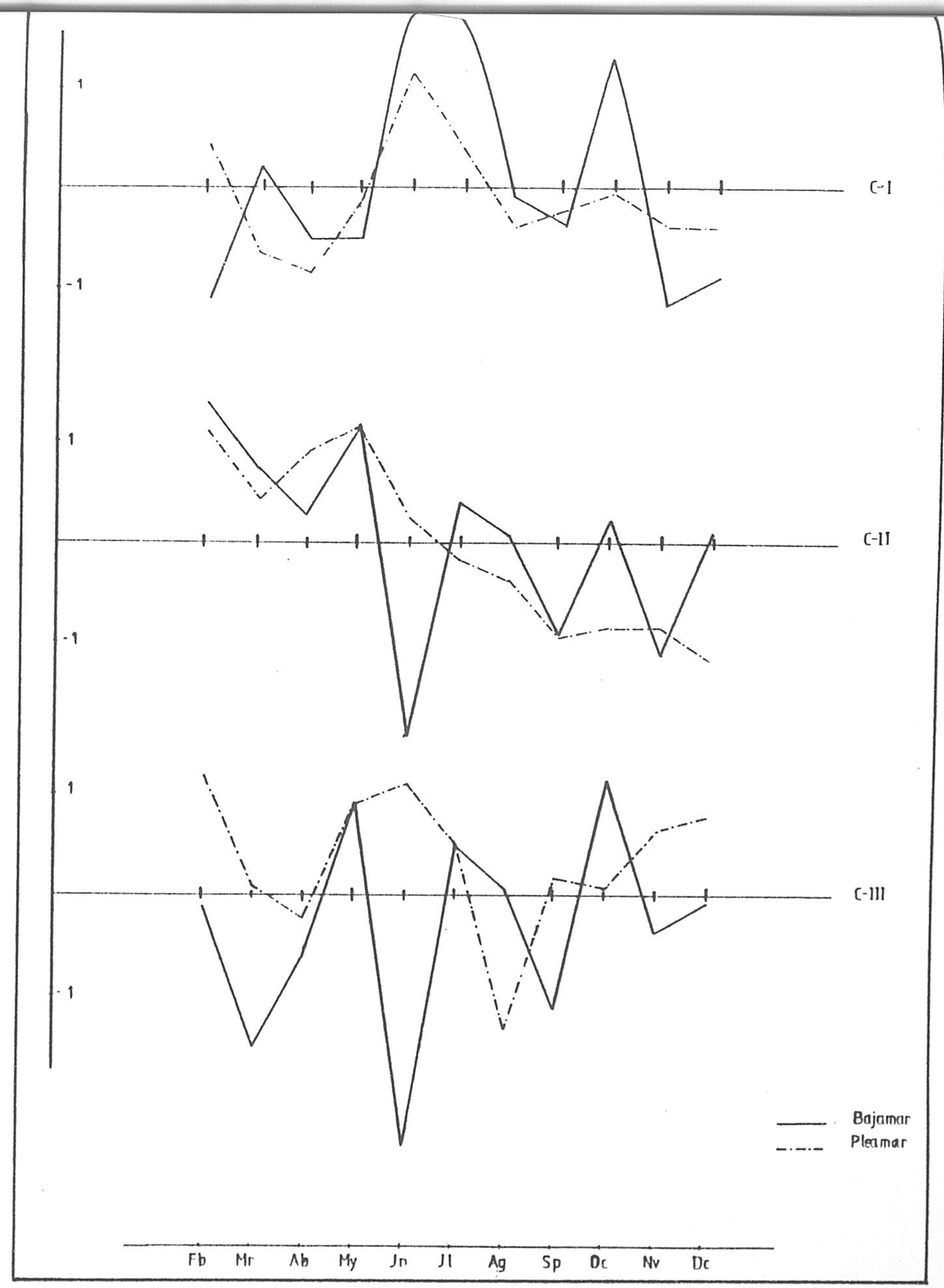


Figura 5.33.- Evolución temporal de los valores de saturación de los Componentes Principales en E-1 (valores medios).

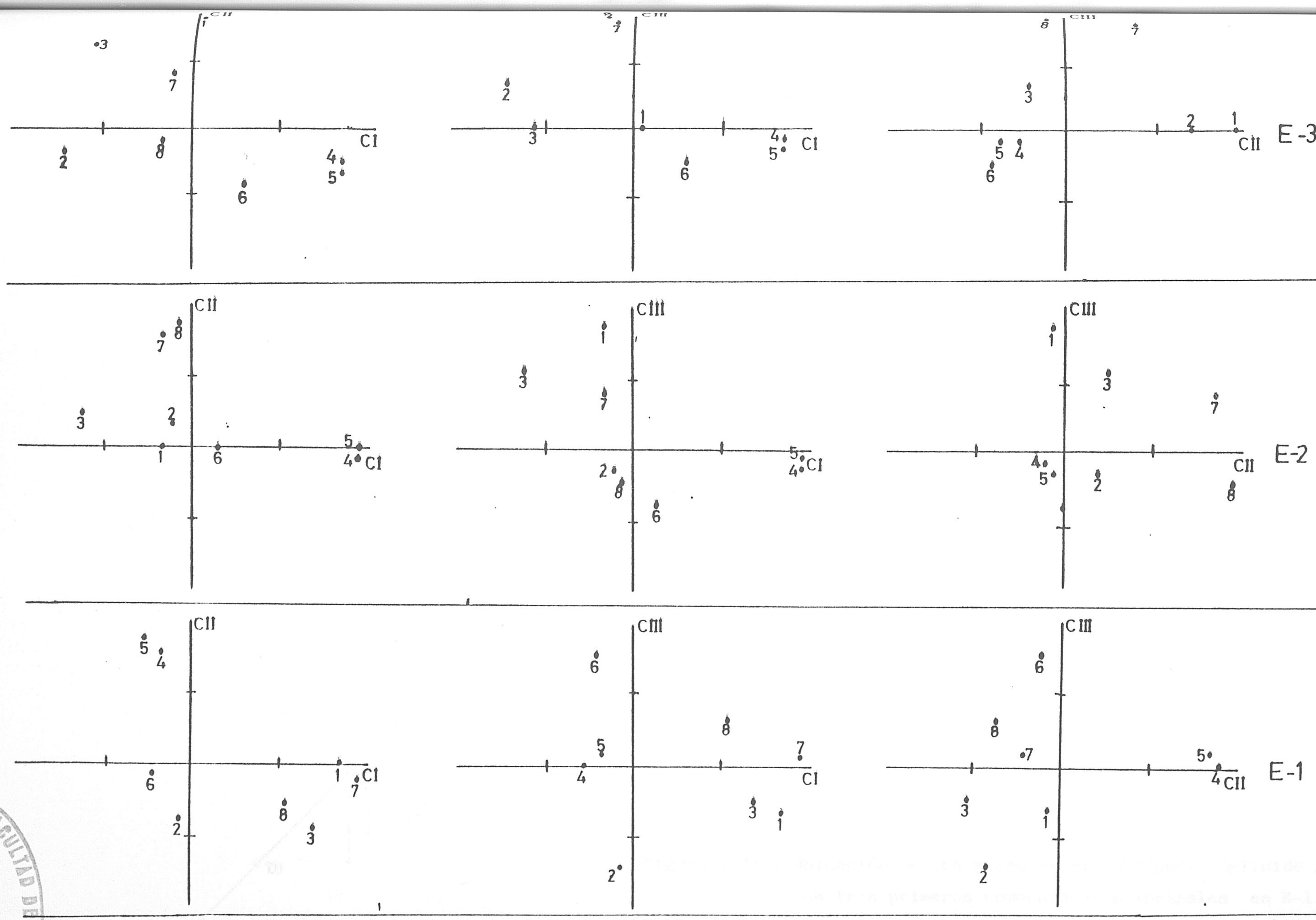


Figura 5.32.- Posición de las variables biológicas según los planos definidos por CI y CII; CI y CIII; CII y CIII, en cada una de las estaciones de muestreo.
(1.-Clorofila a, 2.-D_{430}/D_{665}; 3.-Abundancia; 4.- H'; 5.- J; 6.- Diat./Diat.+Dinof.; 7.- CAP; 8.- CAP/Clor.a .).

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

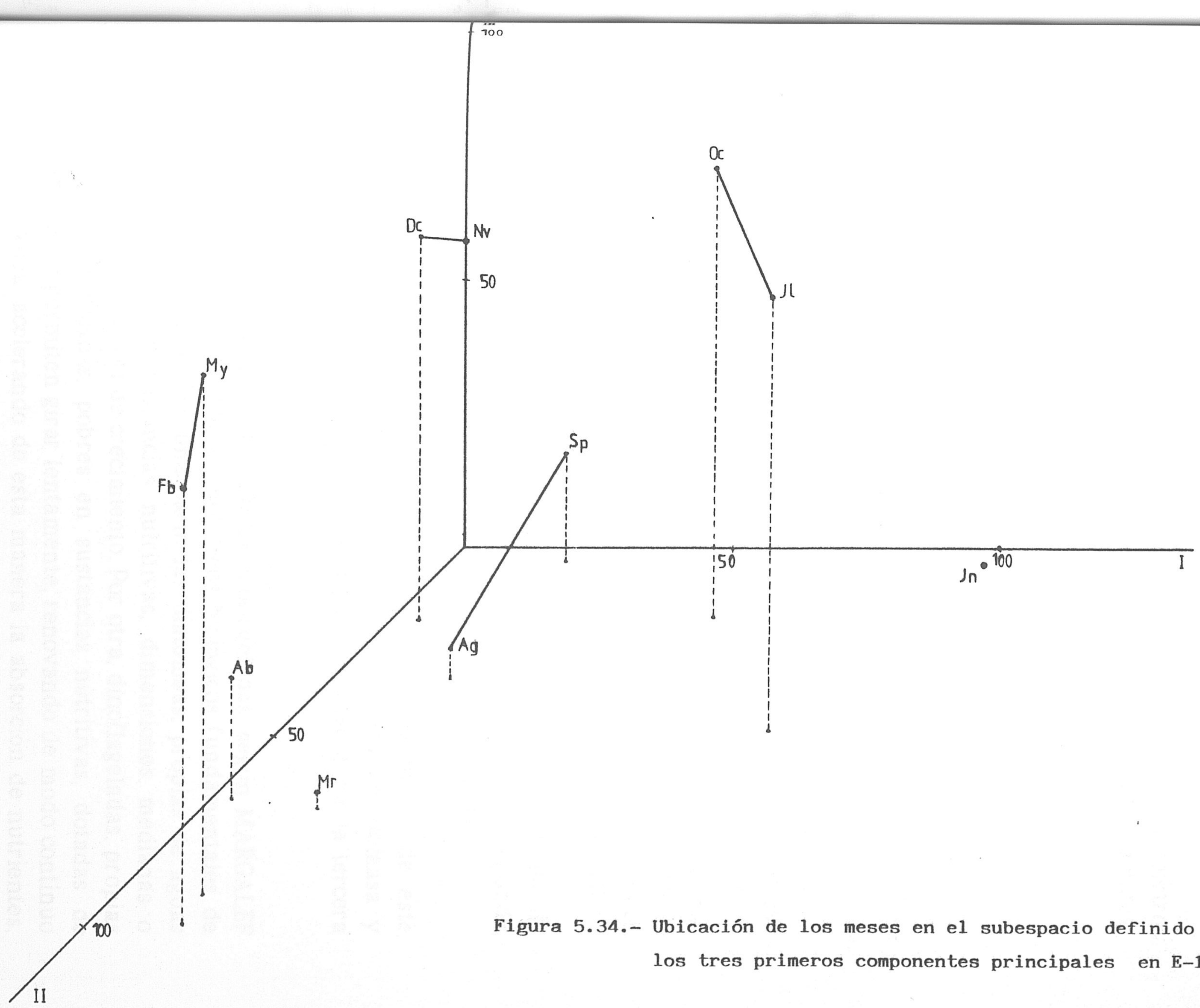


Figura 5.34.- Ubicación de los meses en el subespacio definido por los tres primeros componentes principales en E-1.

5.9.2.4.- Resumen

Las principales tendencias de variación de los parámetros biológicos en la ría, a lo largo del ciclo de muestreo, fueron los siguientes:

-Estructura de la comunidad.
-Evolución de la biomasa.
-Producción primaria.
-Etapa sucesional.

Estas tendencias de variación se presentaron en las tres estaciones estudiadas pero con algunas diferencias:

La estación 3 presentó este patrón de comportamiento aunque no apareció la cuarta tendencia de variación. Las variables relacionadas con el cuarto componente (D_{430}/D_{665} y Diatomeas/Diatomeas + Dinoflageladas) repartieron sus pesos entre las tres primeros componentes. Otra diferencia con respecto a los demás estaciones fue la aparición de estratificación vertical, asociada con el tercer componente. Esta estratificación está relacionada con la intensidad de luz-producción.

La estación 2 varió el orden de los componentes. El eje de producción pasó de ser la tercera tendencia de variación a ser la segunda. En esta estación apareció el cuarto componente del análisis total.

La estación 1 mostró un comportamiento distinto al de este patrón general. El componente I agrupó las variables de biomasa y producción. Por otra parte, el cuarto componente pasó a ser la tercera tendencia de variación.

El índice diatomeas/diatomeas+dinoflageladas, según MARGALEF (1975) indica la importancia de dos tipos biológicos fundamentales de adaptación al plancton. Por una parte las diatomeas, propias de aguas turbulentas, ricas en sustancias nutritivas, dimensiones medianas o pequeñas y elevada tasa de crecimiento. Por otra, dinoflageladas, propias de aguas estratificadas, pobres en sustancias nutritivas, dotadas de flagelos que les permiten girar lentamente, renovando de modo continuo el agua próxima, acelerando de esta manera la absorción de nutrientes, en escasa concentración, y con una tasa de crecimiento reducida (VARELA, 1982). Por tanto, el índice es un efecto combinado de la turbulencia y la riqueza de nutrientes, los dos factores que gobiernan

principalmente el fitoplancton, y es indicativo por consiguiente de la abundancia total de células.

En la ría de Mogro no se dieron condiciones de escasez de nutrientes. Los aportes del río proporcionaron en todo momento los nutrientes necesarios para el desarrollo y crecimiento del fitoplancton; fueron otros agentes como turbidez, temperatura, tiempo de residencia de las células, etc... los que limitaron el crecimiento. En consecuencia, las dinoflageladas que se encontraron no fueron las típicas de un ambiente de aguas pobres en sustancias nutritivas, su presencia fue esporádica. El índice, a veces, es poco indicativo de las condiciones hidrográficas del plancton y sirve únicamente para indicar la abundancia relativa de un grupo sobre otro.

El que aparezca como tercer tendencia de variación en la estación 1 se debió en parte a la correlación existente entre las variables biológicas de biomasa y producción en esta estación, que hizo que estos parámetros estuviesen fuertemente correlacionados con el CI.

5.10.- CORRELACIONES ENTRE PARAMETROS FISICOS, QUIMICOS Y BIOLOGICOS

Se emplearon 19 parámetros: pH, temperatura oxígeno disuelto, alcalinidad, salinidad, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, silicatos, relación N:P, clorofila "a", D_{430}/D_{665}, número de células, diversidad, uniformidad, índice diatomeas/diatomeas + dinoflageladas, carbono asimilado particulado (CAP) e índice de asimilación.

Las correlaciones obtenidas entre los parámetros físicos y químicos presentaron el mismo patrón de comportamiento que describimos en el Capítulo 4. Es decir, masas de agua más frías, menos salinas, más oxigenadas y con mayor concentración de nutrientes se oponen a las masas de agua más cálidas, más salinas, menos oxigenadas y con menos nutrientes. Nos referiremos sólo a las relaciones de los parámetros físicos y químicos con los biológicos.

En la Tabla 5.21 se muestra la matriz de correlación de estas variables en cada estación de muestreo.

La temperatura presentó correlación positiva con las variables de biomasa y con el CAP y negativa con la diversidad y uniformidad.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1.00																		
2	-.09	1.00																	
3	.15	-.29	1.00																
4	-.31	.69	-.26	1.00															
5	-.22	.47	-.42	.59	1.00														
6	.03	-.69	.44	-.57	-.64	1.00													
7	-.32	-.22	.51	.04	-.23	.52	1.00												
8	-.28	-.29	.38	-.35	-.49	.49	.52	1.00											
9	-.06	-.53	.39	-.46	-.42	.74	.49	.39	1.00										
10	.08	-.52	.52	-.59	-.70	.78	.44	.50	.61	1.00									
11	.04	-.63	.39	-.50	-.64	.91	.44	.52	.40	.70	1.00								
12	.28	.46	-.08	.29	-.10	-.12	-.02	-.05	-.19	.05	-.06	1.00							
13	-.35	.51	-.36	.18	.02	-.04	.06	.12	-.05	-.09	-.12	.09	1.00						
14	-.08	.73	-.24	.59	.21	-.33	-.09	-.16	-.33	-.23	-.26	.70	.30	1.00					
15	.37	-.50	.23	-.58	-.38	.30	-.06	.14	.24	.39	.26	-.29	-.28	-.64	1.00				
16	.28	-.33	.24	-.30	-.29	.29	.01	.08	.23	.37	.25	-.22	-.22	-.47	.74	1.00			
17	-.25	-.02	.15	.04	.18	.04	.16	.00	.14	.04	-.04	-.29	-.39	-.12	.02	.07	1.00		
18	.24	.39	-.16	.39	.13	-.16	-.14	-.28	-.24	-.14	-.12	.78	.02	.68	-.39	-.28	-.13	1.00	
19	.02	.19	-.26	.30	.37	-.22	-.26	-.41	-.20	-.37	-.23	.14	.01	.32	-.36	-.27	.05	.71	1.00

E - 1

1: pH; 2: temperatura; 3: OD; 4: alcalinidad; 5: salinidad; 6: nitratos; 7: nitritos; 8: amonio; 9: fosfatos; 10: silicatos; 11: N:P; 12: clorofila *a*; 13: D_{430}/D_{665}; 14: abundancia; 15: H'; 16: J; 17: diatomeas/diatomeas+dinoflageladas; 18: CAP; 19: CAP/Clorofila *a*.

Tabla 5.21.- Matriz de correlación entre parámetros físicos, químicos y biológicos (por estaciones de muestreo).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1.00																		
2	0.07	1.00																	
3	.09	-.11	1.00																
4	-.24	.73	-.29	1.00															
5	-.35	.54	-.49	.82	1.00														
6	-.12	-.77	.47	-.71	-.67	1.00													
7	-.35	-.29	.45	-.12	-.19	.57	1.00												
8	-.09	-.33	.51	-.43	-.46	.58	.59	1.00											
9	-.01	-.41	.17	-.33	-.25	.48	.29	.28	1.00										
10	.14	-.57	.40	-.69	-.79	.72	.43	.45	.41	1.00									
11	-.13	-.64	.50	-.60	-.60	.88	.50	.56	.05	.55	1.00								
12	.29	.31	.24	.19	-.17	-.11	-.01	-.02	-.18	.17	-.07	1.00							
13	-.20	.09	-.12	.20	.17	-.12	.04	.04	-.16	-.22	-.03	-.04	1.00						
14	.05	.71	-.06	.62	.29	-.48	-.05	-.22	-.34	-.18	-.38	.62	.09	1.00					
15	.24	-.50	.04	-.52	-.41	.28	-.16	.05	.29	.31	.13	-.29	-.22	-.63	1.00				
16	.19	-.51	-.05	-.49	-.35	.27	-.18	.04	.35	.31	.09	-.31	-.14	-.62	.95	1.00			
17	-.19	-.14	.04	-.06	.09	.11	.11	.01	.16	.14	.03	-.33	-.34	-.25	.28	.32	1.00		
18	.15	.22	-.05	.33	.16	-.21	.02	-.07	-.17	-.14	-.15	.44	.15	.50	-.28	-.24	-.24	1.00	
19	-.08	.07	-.21	.27	.32	-.20	.01	-.05	-.11	-.31	-.14	-.24	.25	.12	-.16	-.09	-.06	.74	1.00

Tabla 5.21.- Continuación

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1.00																		
2	0.07	1.00																	
3	0.05	-.11	1.00																
4	-.34	.69	-.20	1.00															
5	-.42	.46	-.29	.83	1.00														
6	-.06	-.80	.26	-.65	-.60	1.00													
7	-.39	-.17	.22	.11	-.06	.44	1.00												
8	-.29	-.29	.29	-.13	-.23	.42	.59	1.00											
9	-.15	-.49	.28	-.28	-.24	.51	.29	.32	1.00										
10	.05	-.59	.31	-.59	-.71	.80	.48	.39	.51	1.00									
11	-.03	-.54	.04	-.45	-.43	.71	.28	.25	-.18	.46	1.00								
12	.37	.42	-.06	.29	.19	-.35	-.15	-.30	-.22	-.21	-.27	1.00							
13	-.09	.41	.06	.38	.18	-.33	.07	.09	-.05	-.18	-.36	-.13	1.00						
14	.00	.80	-.06	.68	.50	-.66	-.08	-.28	-.28	-.41	-.54	.62	.34	1.00					
15	.45	-.36	-.05	-.63	-.52	.25	-.23	-.16	.05	.19	.23	-.21	-.40	-.56	1.00				
16	.44	-.42	-.05	-.61	-.49	.33	-.21	-.21	.17	.24	.22	-.29	-.38	-.59	.88	1.00			
17	-.24	-.27	-.09	-.13	.03	.18	.15	.13	.22	.06	.06	-.31	-.30	-.27	.25	.32	1.00		
18	.04	.27	-.07	.49	.34	-.30	.11	.01	-.02	-.30	-.24	.39	.23	.35	-.30	-.33	-.32	1.00	
19	-.16	.09	-.04	.41	.29	-.17	.21	.18	.05	-.25	-.11	-.13	.36	.07	-.22	-.19	-.11	.83	1.00

Tabla 5.21.- Continuación

Podemos concluir que el aumento de temperatura llevó consigo un aumento de biomasa fitoplanctónica y una disminución de la diversidad de la población.

El oxígeno disuelto no presentó correlaciones significativas con las variables biológicas estudiadas. Sin embargo, se relacionó significativamente con las variables físicas y químicas (Capítulo 4). Por lo tanto, el aporte de oxígeno al agua de la ría fue más bien debido a procesos físicos que biológicos, aunque esto no quiere decir que en épocas de alta producción, el contenido de oxígeno disuelto en el agua no sea aportado en un elevado porcentaje por la actividad fotosintética de las algas.

La alcalinidad se correlacionó positivamente con el CAP, aumentando la producción a medida que aumenta la alcalinidad.

La salinidad mantuvo correlaciones negativas con la diversidad y uniformidad y positivas con el número de células y el CAP. Las rectas de regresión encontradas entre la salinidad y las variables biológicas en los dos momentos de marea fueron las siguientes:

VARIABLE	BAJAMAR		PLEAMAR	
Clorofila	Cl a=-0.045+0.4;	r=0.07	0.1S+0.35;	r=0.13
D_{430}/D_{665}	D_{430}/D_{665}=0.095+0.49;	r=0.33*		
Nº células	N=0.985+2.12;	r=0.52*	1.01S+2.4;	r=0.5*
Diversidad	H'=-0.18S+0.73;	r=0.5*	-0.16S+0.69;	r=0.53*
CAP	CAP=0.28S+0.16;	r=0.3*	0.42S+0.07;	r=0.3*
Indice Asim.	CAP/Clorof=0.37S+0.3;	r=0.37*	0.3S+0.04;	r=0.32*

S = salinidad.
*Significación al 95%.

La clorofila a se correlacionó negativamente con los nutrientes, con D_{430}/D_{665}, con la diversidad, uniformidad e índice de diatomeas/diatomeas + dinoflageladas y positivamente con el número de células y CAP. Correlación negativa de la clorofila con los nutrientes ha sido encontrada por otros autores (MUKAI et al., 1984). Generalmente un aumento de biomasa fitoplanctónica lleva consigo una disminución de nutrientes, como consecuencia de la utilización de éstos por parte del fitoplancton.

5.11.- ANALISIS MULTIVARIANTE APLICADO A LAS ESPECIES DE FITOPLANCTON

Del total de los 239 taxones encontrados se seleccionaron 36 para el ACP (Tabla 5.22). Los criterios seguidos fueron: 1º que en ella estuvieran representados todos los grupos principales; 2º que no fueran especies raras y 3º que fueran especies cuya identificación estuviera libre de dudas. Para aproximar los datos a la normalidad y reducir la proporción de la varianza explicada por la diferencia de biomasa, se realizó la transformación logarítmica (log(x+1)) (DAGET, 1976; VENRICK, 1978), siendo x = número de células/ml), aunque con toda seguridad, la transformación que mejor normaliza las distribuciones no es la misma para todas las especies (MARGALEF, 1980).

Se realizaron 3 análisis, uno para cada estación de muestreo, con las abundancias de las especies seleccionadas, a lo largo del ciclo, en los cinco puntos, (en los que se cogieron muestras) en bajamar y pleamar (110 muestras).

Comenzaremos por la estación 2, como la más representativa de las condiciones de estuario.

Estación 2: Sucesión estacional

Los cuatro primeros componentes, a los que se les puede encontrar una interpretación, absorbieron el 46.15% de la varianza. La baja varianza encontrada por los primeros componentes, es un resultado esperado y encontrado en otros casos en los que se realizó un análisis semejante (MARGALEF & GONZALEZ BERNALDEZ, 1969; BLASCO et al., 1980, 1981; ESTRADA, 1982, 1984; ESTRADA Y BLASCO, 1979). Es fruto de la amplitud de las combinaciones ambientales y temporales, así como de las complejas interrelaciones que se establecen entre las densidades de las especies del fitoplancton.

Las varianzas acumuladas para cada componente fueron las siguientes:

Componente	Autovalor	% de la varianza acumulada
I	5.3	14.6
II	4.7	27.6
III	3.6	37.6
IV	3	46.1

En la Tabla 5.22 se presentan las especies que se utilizaron en el análisis, ordenadas según su coeficiente de correlación con el primer componente (CPI). Las mayores correlaciones positivas con el CPI corresponden a Bacteriastrum hyalinum, Rhizosolenia stolterforthii, Nitzschia seriata, Leptocylindrus danicus, Biddulphia mobilensis y las negativas a Navicula sp, Cryptomonas sp, Cyclotella sp, Thalassionema nitzschioides, Amphora hyalina.

El componente II (CPII) (Tabla 5.23) presentó correlación positiva con Chaetoceros curvisetus, Chatoceros socialis Nitzschia delicatissima, Rhizosolenia alata, Gymnodinium minus y negativa con Closterium sp., Amphora hyalina, Rhoicosphenia curvata, Thalassiosira gravida Rhabdonema arcuatum.

Las especies mejor correlacionadas con el componente III (CIII) (Tabla 5.24) fueron: Gymnodiniun minus Gonyaulax tamarensis, Protoperidinium sp, Pyrophacus steinii sp, Cryptomonas sp. Todas ellas dinoflageladas menos la última.

El componente IV (CIV) (Tabla 5.25) se correlacionó positivamente con Thalassiosira gravida, Thalassiosira hyalina, Skeletonema costatum, Prorocentrum balticum, Eutreptia sp. y negativamente con Navicula sp, Thalassionema nitzschoides, Dynobrion sociale.

Considerando la influencia que los fenómenos físicos ejercen sobre la distribución y dispersión del plancton (FOURNIER et al., 1985; LEWIS et al., 1984; SANDERSON, 1984), hemos intentado buscar algunas relaciones y para ello empleamos dos procedimientos. El primero consistió en representar los valores obtenidos para las componentes como se representaron los valores de los demás parámetros medidos y comparar estas nuevas distribuciones. El segundo proceder consistió en el cálculo de los coeficientes de correlación entre los parámetros biológicos, físicos y químicos. Esto no es tan sencillo ya que probablemente cada componente no representa un solo factor sino el resumen de un conjunto de condiciones biológico-ambientales como pudiera ser la edad del ecosistema (BLASCO, 1971), influencia de los medios fluvial y marítimo, etc....

En la Tabla 5.26 se muestra la matriz de correlación entre los cuatro primeros componentes principales y las variables físicas, químicas y biológicas.3

Tabla 5.22.- Valores de las saturaciones de las especies con CI. Ordenadas según el valor de la saturación en E-2.

	CI
18. Bacteriastrum hyalinum	0.98
11. Rhizosolenia stolterforthii	0.97
8. Nitzschia seriata	0.69
16. Leptocylindrus danicus	0.66
12. Bidulphia mobilensis	0.52
34. Prorocentrum balticum	0.46
7. Nitzschia closterium	0.15
27. Eutreptiella sp.	0.12
20. Melosira sp.	0.03
22. Chaetoceros lorenzianus	0.02
10. Rhizosolenia alata	0.02
23. Chaetoceros curvisetus	0.00
31. Gonyaulax tamarensis	-0.01
24. Chaetoceros socialis	-0.02
32. Protoperidinium sp.	-0.04
29. Gymnodinium sp.	-0.04
13. Thalassiosira gravida	-0.05
1. Scenedesmus sp	-0.06
35. Pyrophacus steinii	-0.05
33. Prorocentrum sp.	-0.06
9. Skeletonema costatum	-0.06
25 Chaetoceros sp.	-0.05
14. Rhabdonema arcuatum	-0.08
15. Leptocylindrus minimus	-0.06
3. Thalassiosira hyalina	-0.07
19. Rhoicosphenia curvata	-0.08
6. Nitzschia delicatissima	-0.08
28. Dynobrion sociale	-0.10
30. Gymnodinium minus	-0.1
26. Closterium sp.	-0.11
17. Amphora hyalina	-0.12
2. Thalassionema nitzschioides	-0.12
21. Cyclotella sp.	-0.13
4. Criptomonas sp.	-0.23
5. Navicula sp.	-0.26

Tabla 5.23.- Valores de las saturaciones de las especies con CII. Ordenadas según el valor de la saturación en E-2.

	C II
23. Ch. curvisetus	0.92
10. Rh. alata	0.85
6. N. delicatissima	0.81
24.Ch. socialis	0.69
30. G. minus	0.52
7. N. closterium	0.43
8. N. seriata	0.43
9. S. costatum	0.38
22. Ch. lorenzianus	0.35
16. L. minimus	0.32
27. Eutreptiella sp	0.21
4. Criptomonas sp.	0.20
29. Gymnodinium sp.	0.20
16. L. danicus	0.09
1. Scenedesmus sp.	0.04
3. Th. hyalina	0.03
20. Melosira	0.03
28. D. sociale	0.02
5. Navicula sp.	-0.036
34. P. balticum	-0.05
31. G. tamarensis	-0.05
18. B. hyalinum	-0.06
35. P. steinii	-0.06
32. Protoperidinium sp	-0.06
11. Rh. stolterforthii	-0.06
25. Chaetoceros sp.	-0.09
14. Rh. arcuatum	-0.12
2. Th. nitzchioides	-0.12
13. Th. gravida	-0.14
12. B. mobilensis	-0.16
19. Rh. curvata	-0.17
17. A. hyalina	-0.20
26. Closterium sp.	-0.21

Tabla 5.24.- Valores de las saturaciones de las especies con CIII.
Ordenadas según el valor de la saturación en E-2.

	CIII
31. G. tamarensis	0.90
32. Protoperidinium sp.	0.88
35. P. steinii	0.86
5. Criptomonas sp.	0.60
30. G. minus	0.36
7. N. closterium	0.34
25. Chaetoceros sp.	0.29
29 Gymnodinium sp.	0.23
5. Navicula sp.	0.21
14. Rh. arcuatum	0.09
27. Eutreptiella sp	0.09
19. R. curvata	0.08
13. Th. gravida	0.02
6. N. delicatissima	0.00
22. Ch. lorenzianus	-0.02
20. Melosira sp.	-0.02
11. Rh. stolterforthii	-0.03
1. Scenedesmus sp.	-0.03
3. Th hyalinum	-0.04
34. P. balticum	-0.04
9. S. costatum	-0.04
8. N. seriata	-0.05
33. Prorocemtrum sp.	-0.05
10. Rh. alata	-0.06
16. L. danicus	-0.06
23.Ch. curvisetus	-0.07
24. Ch. socialis	-0.07
28. D. socialis	-0.13
26. Closterium sp.	-0.13
12. B. mobilensis	-0.16
17. A. hyalina	-0.17
15. L. minimus	-0.17
21. Cyclotella sp.	-0.17
2. T. nitzschioides	-0.21
18. B. hyalinum	-0.61

Tabla 5.25.- Valores de las saturaciones de las especies con CIV.
Ordenadas según el valor de la satauración en E-2.

	CIV
13. Th. gravida	0.88
3. Th. hyalina	0.79
9. S. costatum	0.78
34. P. balticum	0.48
27. Eutreptiella sp.	0.43
29. Gymnodinium sp.	0.30
30. G. minus	0.29
7. N. closterium	0.27
1. Scenedesmus sp.	0.13
31. G. tamarensis	0.11
4. Criptomonas sp.	0.07
23. Ch. curvisetus	0.04
24. Ch. socialis	0.04
10. Rh. alata	0.03
33. Prorocentrum sp.	0.00
11. Rh. solterforthii	-0.01
16. L. danicus	-0.02
18. B. hyalinum	-0.03
32. Protoperidinium sp.	-0.03
6. N. delicatissima	-0.03
22. Ch. lorenzianus	-0.05
8. N. seriata	-0.05
12. B. mobilensis	-0.07
15. L. minimus	-0.08
20. Melosira sp.	-0.08
25. Chaetoceros sp.	-0.12
19. R. curvata	-0.13
21. Cyclotella sp.	-0.13
17. A. hyalina	-0.14
14. Rh. arcuatum	-0.14
26. Closterium sp.	-0.18
28, D. socialis	-0.18
35. P.steinii	-0.18
2, T. nitzschioides	-0.25
5. Navicula sp.	-0.37

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1.00													
2	.54	1.00												
3	-.77	-.67	1.00											
4	-.33	-.46	.58	1.00										
5	-.41	-.25	.48	.28	1.00									
6	-.64	-.60	.88	.56	.05	1.00								
7	.09	.17	-.12	.04	-.16	-.03	1.00							
8	.71	.29	-.48	-.22	-.34	-.38	.09	1.00						
9	-.50	-.41	.28	.05	.29	.13	-.22	-.63	1.00					
10	.22	.16	-.21	-.07	-.17	-.15	.15	.50	-.28	1.00				
11	.23	.21	-.27	-.17	-.17	-.23	.18	.12	-.02	-.07	1.00			
12	.42	.29	-.36	-.24	-.22	-.32	-.13	.29	.01	.12	.00	1.00		
13	.24	-.16	-.04	.10	-.07	-.05	.15	.53	-.30	.55	.00	.00	1.00	
14	.28	.24	-.29	.11	-.15	-.21	.15	.25	-.06	.39	.00	.00	.00	1.00

1: Temperatura; 2: Salinidad; 3: Nitratos; 4: Amonio; 5: Fosfatos; 6: N:P; 7: D_{430}/D_{665}; 8: Abundancia; 9: H'; 10: CAP; 11: CI; 12: CII; 13: CIII; 14: CIV.

Tabla 5.26.- Matriz de correlación entre variables físicas, químicas, biológicas y las componentes principales (CI, CII, CIII, CIV) obtenidas al realizar el ACP a las especies de fitoplancton.

El CPI no presenta buena correlación con ninguna de las variables ambientales y biológicas utilizadas en el análisis. La evolución de este componente en la estación 2 a lo largo del ciclo de muestreo en bajamar y pleamar se muestra en la figura 5.35.

Este componente presentó valores negativos en bajamar a lo largo de todo el ciclo (excepto en las muestras del punto medio de junio (0.33), agosto (0.17) y septiembre (0.1)). Mientras que en pleamar presentó valores positivos en todos los puntos en las muestras de junio, julio, septiembre, octubre y en el agua de fondo de febrero y diciembre. Si comparamos la distribución del CPI en esta estación con los valores de σ_T(figura 4.9) podemos observar que coincide con los mayores valores de σ_T($\approx$25). Los valores de σ_T = 25 se han citado para aguas oceánicas limítrofes.

Las algas que presentan correlaciones positivas con CPI son frecuentes en aguas neríticas y serían introducidas por la marea en el estuario. Las especies que presentan correlaciones negativas son más frecuentes en aguas de mezcla con gran porcentaje fluvial o que han tenido fuertes desarrollos en momentos de crecida del río. Este componente, pues, coincidiría con el obtenido al realizar el ACP de las variables físicas y químicas, en este caso separando las especies neríticas de las fluviales.

Las correlaciones más altas del CPII fueron con las siguientes variables: salinidad y temperatura positivamente y negativamente con los nitratos, amonio, fosfatos y N:P. Está relacionado con la estacionalidad de las especies, separando a las especies de aguas más cálidas y pobres en nutrientes (verano) de las de aguas más frías y ricas en nutrientes. Así, los valores más negativos de este componente correspondieron al mes de noviembre (la concentración de nitratos llegó a alcanzar 200 μM) y los valores más positivos en julio y agosto cuando las temperaturas fueron altas y la concentración de nitrato baja. El CPII pone de manifiesto la importancia de la temperatura y los nitratos en el ciclo estacional (LEWIN, 1978). Las especies correlacionadas positivamente (Chaetoceros socialis, Ch. curvisetus, Ch. lorenzianus, Gymnodinium minus) están provistas de prolongaciones celulares y son capaces de mantenerse en el nivel adecuado de luz y nutrientes que necesitan para su desarrollo. Este componente explica la variabilidad debida a las proliferaciones que fomentan los aportes de nutrientes y las proliferaciones que se dan cuando y donde la turbulencia decae y los nutrientes son mínimos.

El CPIII se correlacionó positivamente con la biomasa fitoplanctónica y el CAP y negativamente con la diversidad. La evolución anual del componente se muestra en la figura 5.35. Presentó valores mayores en bajamar que en pleamar. Los valores más negativos correspondieron a los meses de mayo y diciembre. Este componente describe el ciclo anual de la biomasa y producción fitoplanctónica. Las especies correlacionadas positivamente con el CPIII, son especies que presentaron floraciones. La correlación negativa con la diversidad nos indica que los aumentos de biomasa fueron debidos a una o pocas especies. Lo mismo ocurre con la producción; presentó correlaciones positivas con Cryptomonas sp., Gymnodinium minus, especies que causaron el bloom de marzo y junio cuando se obtuvo una gran producción.

El CPIII nos pone de manifiesto que el ciclo anual del fitoplancton no está regulado exclusivamente por los nutrientes y la temperatura, sino que influyen otras propiedades físicas como pueden ser los procesos de estabilidad.

El CPIV se correlacionó positivamente con especies que son capaces de provocar una crecida del fitoplancton, cuando las condiciones les son favorables. Se trata de especies oportunistas como Skeletonema costatum, Eutreptiella sp., Gymnodinium minus. Negativamente se correlaciona con especies que se presentan durante todo el año. Su evolución anual, figura 5.35, muestra que los valores más positivos se dieron en octubre, cuando después del agotamiento de nutrientes del verano, las primeras lluvias aumentaron la concentración de éstos en la ría, dando lugar a un aumento de biomasa y producción fitoplanctónica.

También se realizó el ACP en la estación más fluvial (E-3) y la más nerítica (E-1); los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.27.

La estación 3 presentó las mismas tendencias de variación que la 2, coincidiendo las correlaciones de las especies con los ejes y la interpretación de los mismos. Es de destacar la evolución del CPI (figura 5.36) en la bajamar durante los meses de junio a octubre. Presenta valores positivos en el punto medio de la columna de agua. Las especies correlacionadas positivamente con este eje son especies neríticas que entran en la ría con la marea procedentes del exterior. Penetrarían por el fondo y se situarían en la capa que más les conviene por la intensidad de luz y nutrientes disponibles. En bajamar el CPI presenta gradientes verticales.

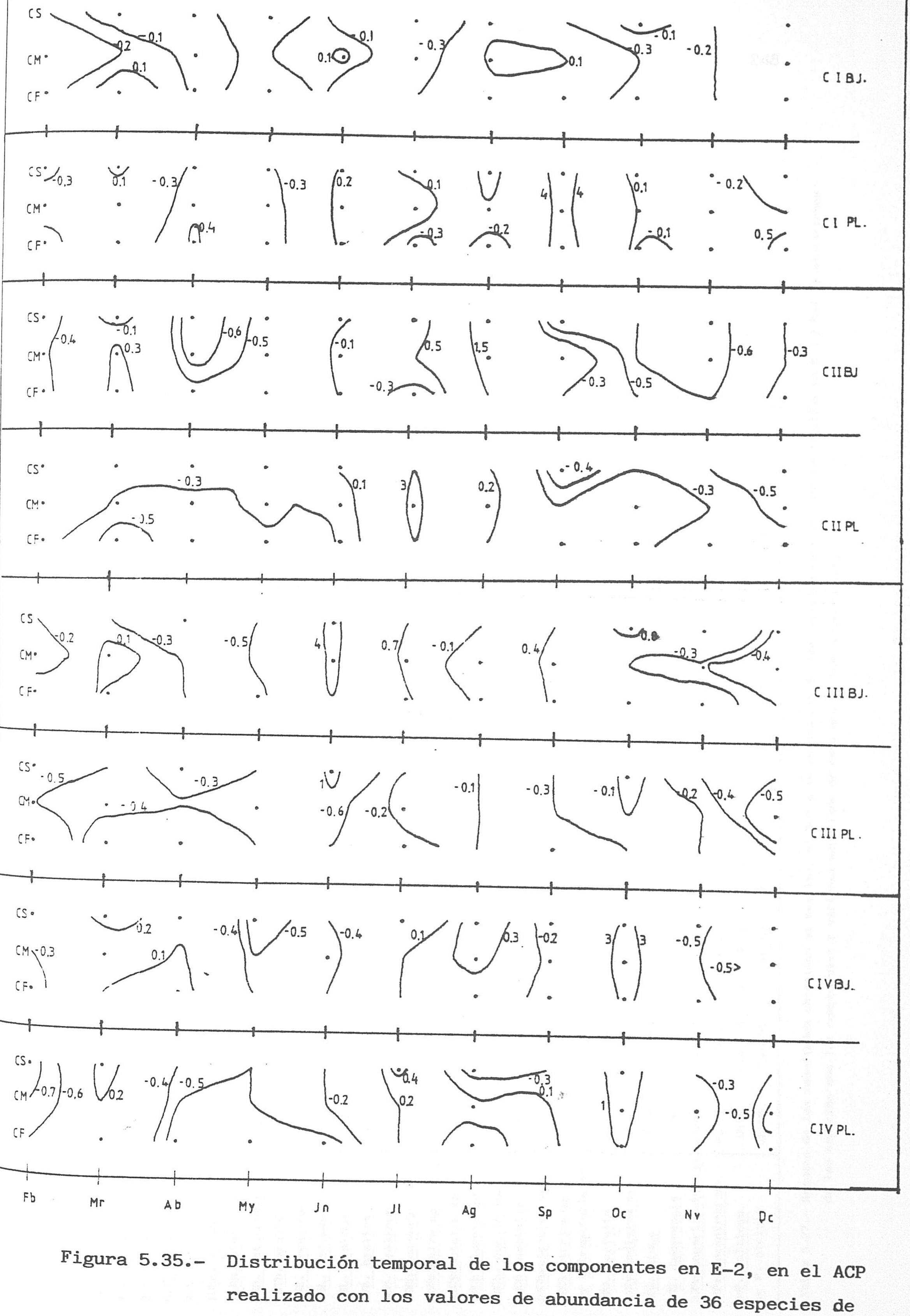


Figura 5.35.- Distribución temporal de los componentes en E-2, en el ACP realizado con los valores de abundancia de 36 especies de fitoplancton.

	CI	CII	CIII	CIV	CI	CII	CIII	CIV
1. Scenedesmus sp.	-0.06	0.06	0.20	0.01	-0.07	0.02	0.02	0.07
2. T. nitzschioides	-0.08	-0.17	-0.18	-0.02	-0.18	-0.10	-0.09	-0.22
3. Th. hyalina	-0.08	0.01	0.67	-0.15	0.02	0.02	0.02	0.02
4. Criptomonas sp.	-0.18	0.37	0.13	0.29	-0.31	0.63	0.04	0.19
5. Navicula sp.	-0.22	0.13	-0.09	0.26	-0.40	0.31	0.12	-0.31
6. N. delicatissima	-0.11	0.86	-0.04	-0.18	-0.18	0.02	0.53	0.10
7. N. closterium	0.10	0.73	0.15	-0.39	-0.09	0.13	0.31	0.17
8. N. seriata	0.69	0.39	0.03	-0.08	0.40	-0.02	0.60	0.50
9. S. costatum	-0.05	0.11	0.74	-0.06	-0.12	-0.02	0.64	-0.04
10 Rh. alata	0.33	0.63	-0.06	-0.02	0.08	-0.06	0.89	0.04
11 Rh. stoltiforthii	0.93	-0.05	-0.04	-0.04	0.94	-0.03	0.04	-0.01
12 B. mobilensis	-0.06	-0.04	-0.12	-0.07	0.29	-0.08	-0.08	-0.08
13 Th. gravida	-0.04	-0.05	0.93	-0.13	-0.07	-0.09	-0.07	-0.09
14 R. arcuatum	-0.12	0.33	-0.29	-0.54	-0.11	0.08	-0.08	0.85
15 L. minimus	0.06	0.38	-0.15	0.27	0.43	-0.09	0.48	0.54
16 L. danicus	0.72	0.11	0.02	-0.11	0.63	-0.01	-0.02	0.53
17 A. hyalina	-0.13	-0.24	-0.24	0.62	-0.11	0.26	-0.08	0.01
18 B. hyalinum	0.74	-0.01	-0.03	-0.02	0.9	-0.01	0.08	0.01
19 Rh. curvata	-0.08	-0.08	-0.15	0.72	-0.06	-0.04	-0.07	0.13
20 Melosira sp.	0.19	0.12	-0.01	-0.12	0.66	-0.09	-0.01	-0.05
21 Cyclotella sp.	-0.11	-0.13	-0.13	0.72	-0.06	-0.09	-0.06	-0.22
22 Ch. lorenzianus	0.10	0.29	-0.04	-0.04	-0.05	0.07	0.28	0.77
23 Ch. curvisetus	-0.04	0.88	-0.04	-0.04	-0.08	-0.05	0.77	0.11
24 Ch. socialis	0.59	0.10	-0.09	-0.02	0.39	-0.04	0.44	0.54
25 Chaetoceros sp.	-0.08	-0.14	-0.15	0.08	-0.08	0.51	-0.12	0.39
26 Closterium sp.	-0.09	-0.32	-0.31	-0.08	-0.13	-0.12	-0.10	-0.09
27 Eutreptiella sp.	0.14	0.43	0.29	-0.39	0.19	0.17	-0.04	0.03
28 D. socialis	-0.06	-0.07	-0.06	0.07	-0.01	-0.15	-0.08	-0.16
29 Gymnodinium sp.	0.02	0.16	-0.17	0.37	0.00	-0.27	0.16	-0.17
30 G. minus	0.09	0.46	0.27	-0.11	0.26	0.39	0.40	-0.24
31 G. tamarensis	-0.03	-0.03	0.06	-0.01	-0.01	0.88	-0.06	0.17
32 Protoperidinium sp.	-0.01	-0.04	-0.10	-0.01	-0.02	0.90	0.00	-0.11
33 Prorocentrum sp.	-0.09	-0.03	-0.06	0.33	-0.66	-0.05	-0.05	-0.07
34 P. balticum	0.58	-0.14	0.59	-0.13	0.55	-0.11	-0.06	-0.10
35 P. steinii	-0.05	-0.01	-0.13	-0.17	-0.03	0.85	-0.05	-0.06

Varianza acumulada

	E-3	E-1
CI	17.06%	17.75%
CII	10.20%	12.00%
CIII	8.30%	10.00%
CIV	6.00%	9.00%

Tabla 5.27.- Resumen de los resultados obtenidos al realizar el ACP a la abundancia de las especies de fitoplancton elegidas en E-3 y E-1. (Saturaciones de las especies con los componentes y varianza acumulada de cada uno de los componentes).

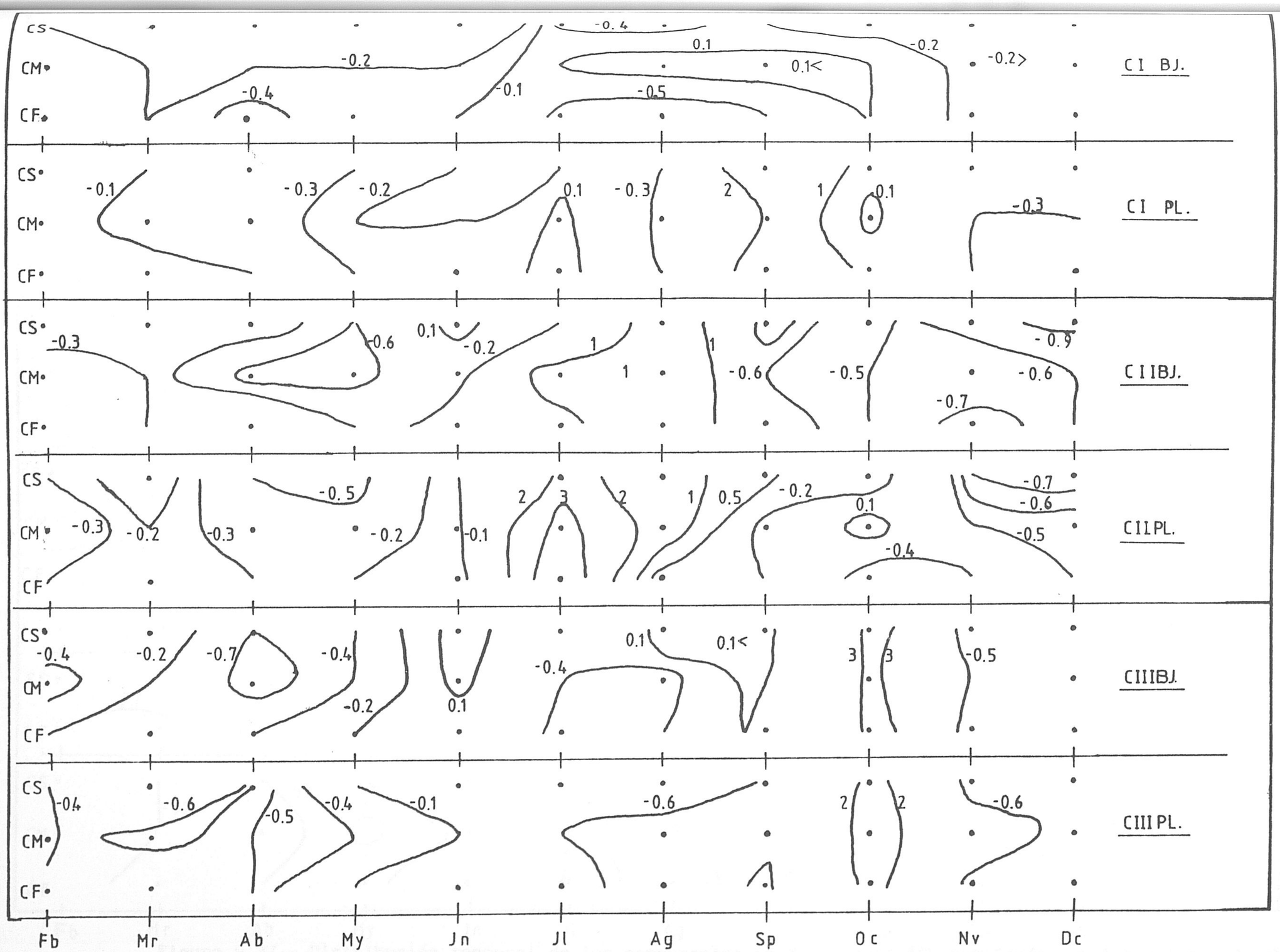


Figura 5.36.- Distribución temporal de los componentes en E-3, en el ACP realizado con los valores de abundancia de 36 especies de fitoplancton.

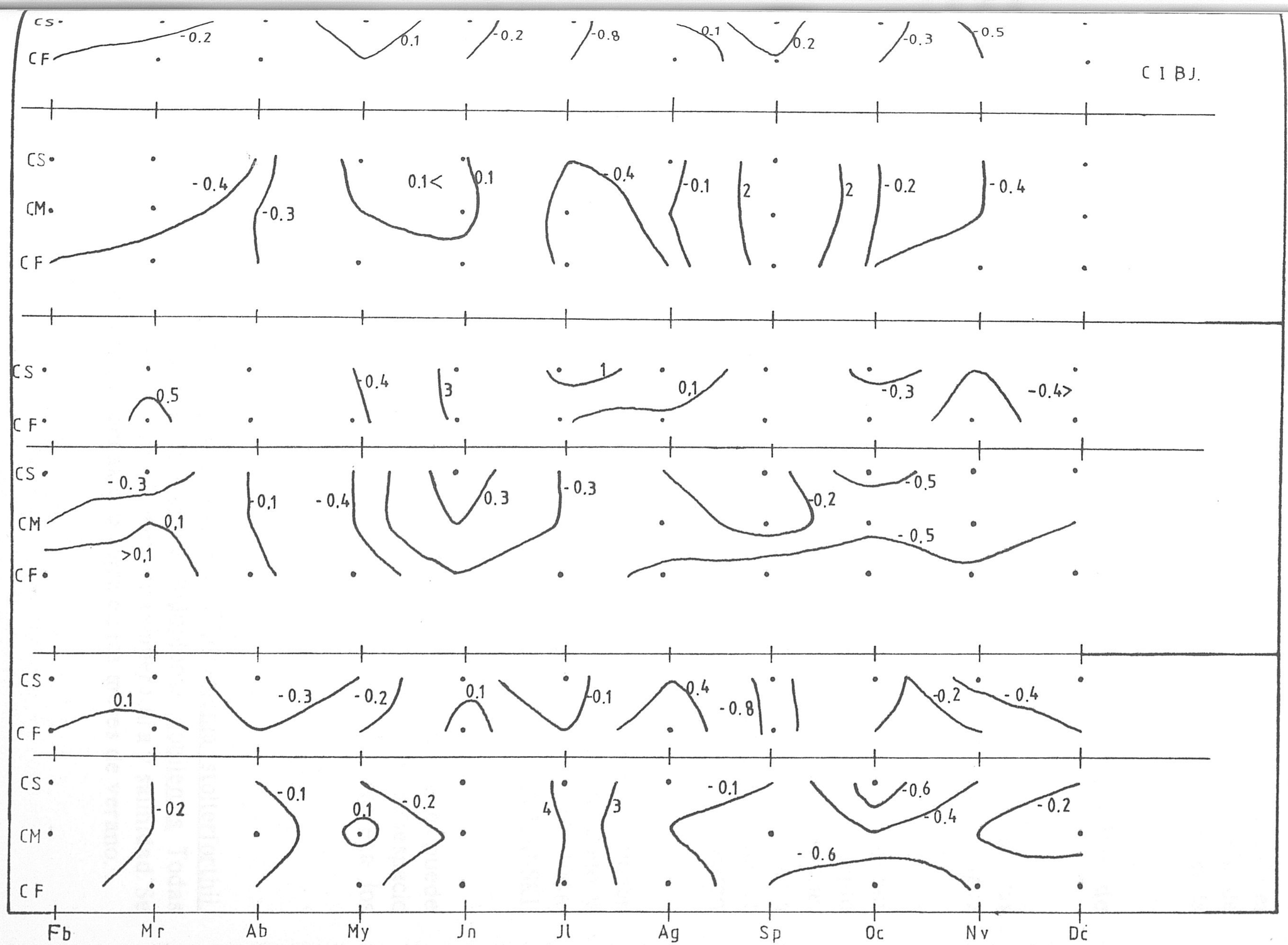


Figura 5.37.- Distribución temporal de los componentes en E-1, en el ACP realizado con los valores de abundancia de 36 especies de fitoplancton.

El CPIII, relacionado con la biomasa y producción fitoplanctónica, pone de manifiesto cómo en la estación 3, el crecimiento del fitoplancton se dio en el mes de octubre. Las diferencias entre bajamar y pleamar no son tan acentuadas y claras como en el análisis realizado en la estación 2.

La estación 1 presentó resultados similares, sólo que cambió el orden de las componentes, de manera que la segunda tendencia de variación de los análisis realizados en las estaciones 2 y 3 pasó a ser la tercera y ésta la segunda.

5.11.1.- Asociaciones de especies y ubicación en el espacio de los componentes

En estuarios donde se producen procesos de mezcla, las poblaciones de fitoplancton pueden caracterizar las masas de agua (LEWIS et al., 1984).

Con el fin de poder establecer asociaciones entre especies -indicadoras de un ambiente determinado- nos basamos en el concepto de nicho como un espacio de probabilidad definido para cada especie, dentro de un espacio multidimensional. Cada componente (del ACP) está definido por un conjunto de factores ambientales. Las especies que se localicen en una nube y estén claramente separadas de otras se pueden considerar como especies asociadas.

Hay numerosos ejemplos en la literatura que tratan de relacionar grupos de especies que caractericen un tipo de ambiente concreto y definido, ya sea hidrográfico, temporal o geográfico (MARGALEF, 1966; BLASCO, 1971; ROJAS y ESTRADA, 1976; SMAYDA, 1983; DOMANSKI, 1984; IBAÑEZ, 1984; LEGENDRE et al., 1985).

En la figura 5.38 se establecen unos grupos a los que se les puede asignar un significado ecológico. La representación en el subespacio definido por los tres primeros componentes principales segrega los siguientes grupos:

Grupo I

Engloba a Bacteriastrum hyalinum, Rhizosolenia stolterforthii, Nitzschia seriata, Leptocylindrus danicus, Biddulphia mobilensis. Todas ellas especies de carácter nerítico, de elevada temperatura y salinidad. Se presentan en las intrusiones del agua costera en los meses de verano.

Grupo II

Formado por Rhizosolenia alata, Chaetoceros curvisetus, Chaetoceros sociale, Nitzschia delicatissima. Presentan valores altos para el componente II y bajos para CI y CIII. No forman "blooms" importantes; se presentan en la ría en los meses de verano con estratificación térmica y pocos nutrientes. La diferencia con el grupo I es que presentan un carácter menos nerítico que las anteriores.

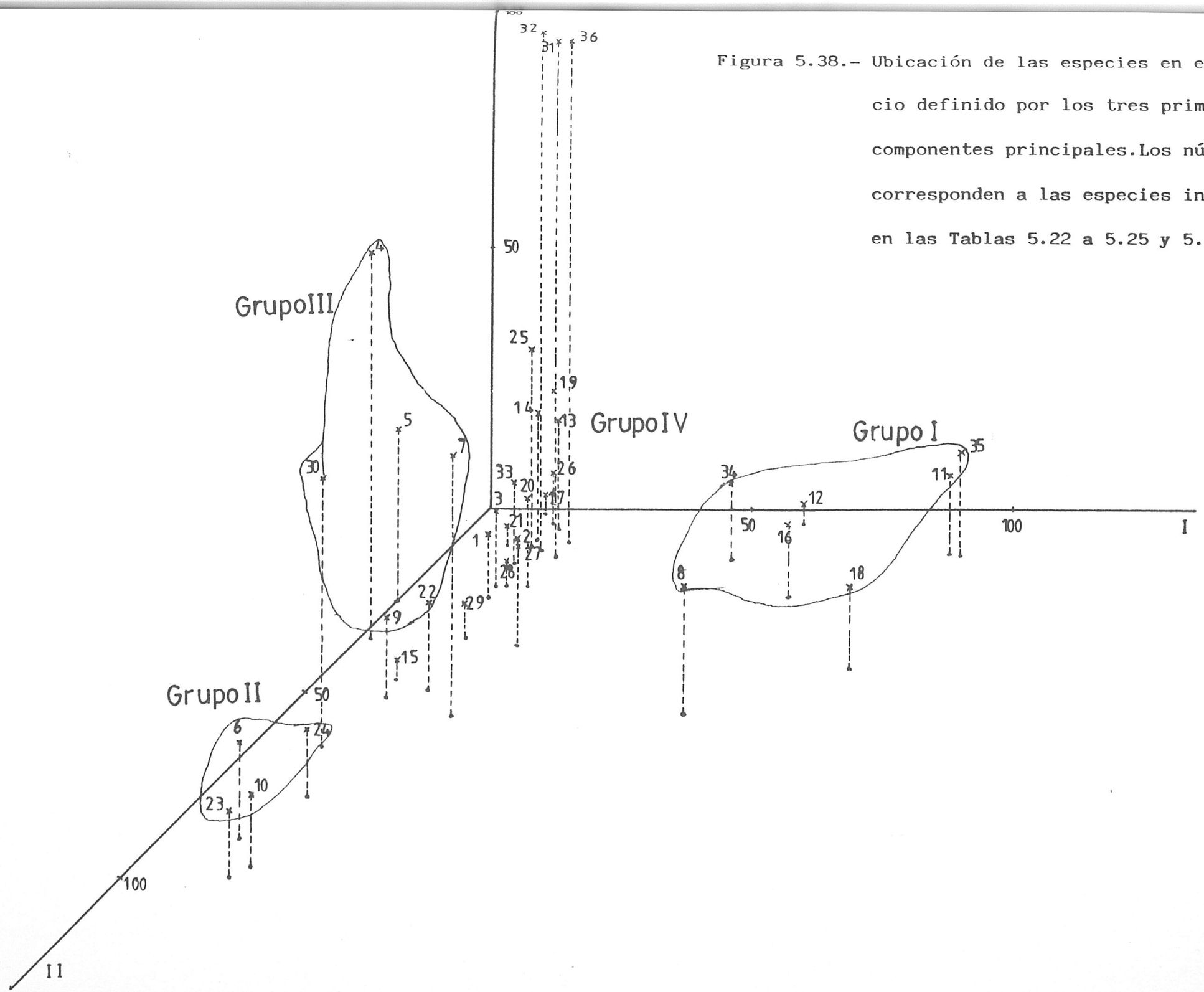
Grupo III

Con Gymnodinium minus, Cryptomonas sp., Navicula sp., Skeletonema costatum, Nitzschia closterium, Eutreptiella sp., Leptcylindrus minimus, Chaetoceros lorenzianus. Agrupa especies de una elevada tasa de crecimiento, propias de aguas turbulentas y ricas en nutrientes. Cualquiera de ellas puede dar lugar a una floración cuando las condiciones les son favorables. La mayoría son especies oportunistas. Están asociadas a una alta producción en la ría, todas ellas con gran motilidad que les permite mantenerse en aguas superficiales y en zonas bien iluminadas.

Grupo IV

Presentan valores bajos para las tres componentes Rhoicosphenia curvata, Amphora hyalina, Chaetoceros sp., Scenedesmus sp., Dynobrion sociale, Closteriumsp. Thalassionema nitzschoides, Cyclotellasp. Son especies de aguas turbulentas presentes durante casi todo el año y de origen fluvial.

Figura 5.38.- Ubicación de las especies en el espacio definido por los tres primeros componentes principales.Los números corresponden a las especies indicadas en las Tablas 5.22 a 5.25 y 5.27.



FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

CAPITULO 6

DISCUSION

6.- DISCUSION

6.1.- HIDROGRAFIA Y NUTRIENTES

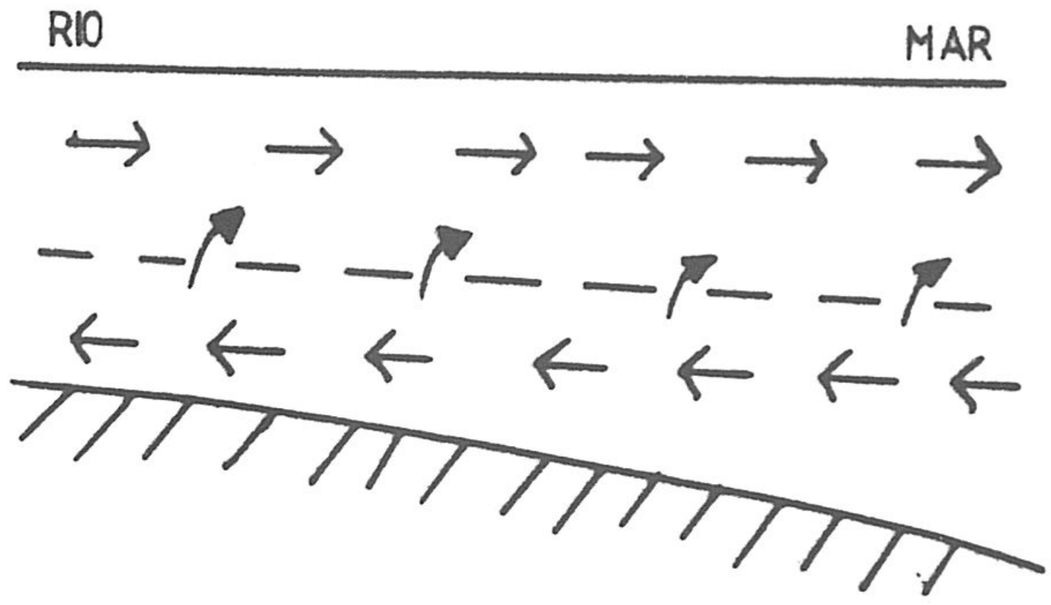
El estuario del río Pas presenta una geomorfología típica de ría. El caudal principal del estuario circula por un canal, a cuyos lados se extienden unas superficies, que son inundadas con la entrada de la marea. No presenta una circulación lateral importante, ya que se trata de un cauce estrecho.

Se manifiesta, por una parte, la existencia de un flujo hacia el mar, en superficie, de agua más dulce que va aumentando e incorporando agua más salada del fondo, a medida que desciende; por otra, un flujo en profundidad de agua más salada hacia el interior que va cediendo sal y ganando agua menos salada. Este perfil es clásico y se ha observado en muchos estuarios (PRITCHARD, 1956; BOWDEN Y HAMILTON, 1975; McCANDLISH, 1980; DAY, 1981; OFFICER, 1983; UNCLES et al., 1985). (Figura 6.1).

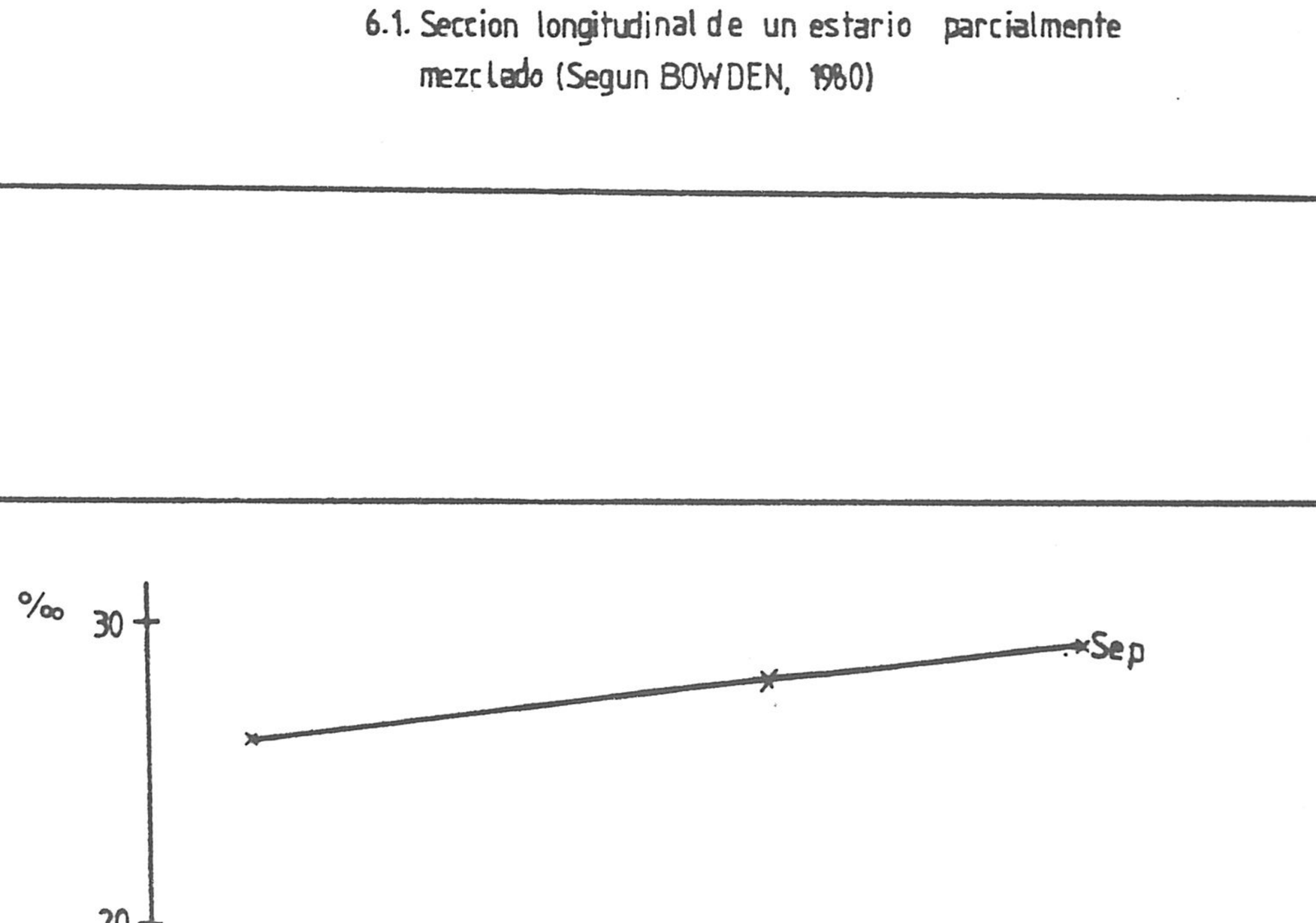
La estratificación de los parámetros hidrográficos estudiados varió a lo largo del estuario, del ciclo mareal y del ciclo anual estudiado.

Las estaciones más interiores (E-2 y E-3) presentaron mayor estratificación de superficie a fondo que la estación 1. Generalmente en la cabecera de los estuarios se produce mayor estratificación (RIAUX Y GRALL, 1982; DYER, 1973).

A lo largo del ciclo estudiado la estratificación varió de acuerdo con el caudal del río y la amplitud de marea. En épocas de altos caudales del río (marzo, mayo y noviembre) aparecieron fuertes gradientes verticales típicos de estuarios altamente estratificados (KETCHUM, 1983). En verano y principios de otoño, el bajo caudal del río conjuntamente con mareas de gran amplitud permitieron que el estuario presentara perfiles semejantes a los estuarios parcialmente estratificados (KETCHUM, 1983). En la figura 6.2 se ha representado la variación de la salinidad a lo largo de un semiciclo de marea en dos situaciones distintas: marzo, con un alto caudal del río (Q=26.3 m^3/seg) y septiembre, con un bajo caudal (Q=1.9 m^3/seg) y una amplitud de marea de 4.5 m.



6.1. Seccion longitudinal de un estario parcialmente mezclado (Segun BOWDEN, 1980)



6.2. Valores medios de la salinidad en un semiciclo de marea

La tipología de los estuarios no es inamovible, ya que depende del nivel de marea, de la descarga del río y de la posición de la estación. (DYER, 1980; KETCHUM, 1983; UNCLES et al., 1985).

En los estuarios estratificados, la corriente de marea es el factor principal en los procesos físicos (OFFICER, 1983; PRANDLE et RAHMAN 1980) y proporciona un efectivo energético para la mezcla turbulenta (KETCHUM, 1983).

Quizá sea arriesgado la utilización de los términos de altamente o parcialmente estratificado, ya que no contamos con medidas de velocidad de corriente para realizar una tipología según el diagrama de HANSEN&RATTRAY, (1966). Sin embargo, los resultados de estratificación obtenidos y la morfología de valle de río inundado (KETCHUM, 1983) nos hacen pensar que se trata de un estuario con las características descritas.

Los gradientes encontrados de σ_T son debidos principalmente a la variación de salinidad (ver diagramas T/S). Se verifica el papel secundario de la temperatura en la densidad del agua (FOURNIER et al., 1984). Según BOWDEN (1980), podríamos llegar a definir la densidad como una función lineal de la salinidad. La distribución de los valores de σ_T sigue de cerca la disposición de las isohalinas. Los gradientes de densidad aumentan con el flujo del río. Situación semejante describen BOWDEN Y GILLIGAN, (1971). En los meses de alto caudal del río, se obtuvieron densidades más bajas en la media marea bajamar-pleamar que en bajamar (figura 4.1). Esto probablemente sea debido a que durante la pleamar se produce una contención de agua dulce en la parte superior del estuario, la cual se libera al invertirse el flujo de marea. (McDOWELL Y B.A. O'CONNOR, 1977). El descenso de marea imprime un carácter de menos salinidad a las aguas que persiste hasta bien adentrada la subida de marea.

El estudio de la temperatura resulta especialmente complejo en sistemas de aguas fluctuantes. El movimiento de las aguas altera aquellos patrones de variabilidad predecibles -principalmente la variación diurna- directamente relacionados con el ciclo día-noche de radiación solar. Así para achacar a una profundidad determinada una variación de temperatura sería necesario que las aguas estuvieran sin movimiento, es decir, estáticas.

La temperatura se encontró fuertemente correlacionada con la salinidad, a la vez que siempre existieron diferencias significativas entre bajamar y pleamar en todas las estaciones; por lo que podemos decir que en los cambios de temperatura tiene más importancia la mezcla que se produce entre los dos tipos de aguas (río-mar) que los cambios producidos por la variación diurna. Durante el verano es el mar el que enfría la mezcla; mientras que durante el resto del año es el que da calor a la mezcla.

La concentración de oxígeno disuelto guardó una estrecha relación con la marea, encontrándose siempre más oxígeno disuelto en bajamar que en pleamar, lo cual indica una menor solubilidad de éste con el aumento de salinidad. Sin embargo, esta situación no se corresponde con el aumento de oxígeno a lo largo del eje longitudinal de la ría, de manera que conforme nos acercamos al mar y la salinidad aumenta también lo hace la concentración de oxígeno disuelto (figura 4.17). Este comportamiento del oxígeno se ajusta al modelo de FESTA Y HANSEN (1978) Y OWENS (1986). Dichos autores encuentran en la zona de máxima turbidez del estuario una gran demanda de oxigeno. Esta zona se encuentra entre el 5% y el 15% de salinidad. La existencia de un gradiente de turbidez, determinado por el coeficiente de extinción de la luz, (estación 3 - estación 1) en la ría de Mogro explicaría este aumento de la concentración de oxígeno cuando aumenta la salinidad. El origen de la turbidez son las deposiciones orgánicas del río y la resuspensión de los fondos por la corriente de marea (BEWERS Y YEATS, 1978; MORRIS et al., 1982.a).

El origen de las sales nutritivas en un estuario es múltiple: aportes exógenos del río o del mar, reciclado "in situ", mineralización de la materia orgánica, intercambio agua-sedimento (RIAUX Y GRALL, 1982).

Las sales nutritivas disueltas (compuestos de carbono, nitrógeno, sílice y fósforo) tienen un origen continental, (CORREL Y FORD, 1982; DELMAS et al., 1983), como lo demuestra el hecho de la aparición en la ría de gradientes longitudinales (la concentración de las sales fue disminuyendo a medida que nos acercamos al mar) y la existencia de gradientes verticales (de superficie a fondo). A estos hechos, hay que sumar la disminución con la entrada de marea (pleamar) y cuando disminuye el caudal del río. Todas estas consideraciones nos podrían explicar la correlación negativa encontrada con la salinidad.

El ciclo anual de las sales nutritivas presentó concentraciones altas en invierno finales de otoño y en épocas de abundantes lluvias y concentraciones bajas en verano principios de otoño. Además de los aportes continentales, el ciclo de los nutrientes estuvo afectado por el fitoplancton (Capítulo 5). Los ciclos anuales del amonio y del fosfato, se diferenciaron del resto en que su recuperación a los niveles invernales se dió un mes antes, indicando una remineralización más rápida de estos nutrientes (debido probablemente a que no han de sufrir cambios en su estado de oxidación). Así, mientras que los nitratos, nitritos y silicatos presentaron bajas concentraciones hasta el mes de octubre, el amonio y el fosfato se presentaron con niveles altos en septiembre. La correlación negativa encontrada entre el oxígeno disuelto y éstos nos indica la mineralización de la materia orgánica con el consiguiente consumo de oxígeno correspondiente.

La estratificación encontrada en las propiedades hidrográficas (salinidad, temperatura, σ_T), estuvo acompañada de gradientes en las sales nutritivas. Su repartición en el estuario se opera, en superficie, siguiendo un gradiente de dilución que se encuentra sometido a los ciclos de mareas y a la posición de las estaciones. Resultados similares obtuvieron FRENCH et al., (1983); HOLLIGAN et al., (1984).

Las sales nutritivas disminuyeron de superficie a fondo y del interior al exterior de la ría. Sin embargo, en algunas ocasiones se encontraron núcleos ricos en puntos aislados a profundidades variables. El origen de estos núcleos puede ser debido a fertilizaciones locales, a la actividad biológica o a la resuspensión del sedimento por las corrientes de marea. Los sedimentos de los estuarios suelen ser ricos en sustancias nutritivas (AUFRETT et al., 1974; RIAUX Y GRALL, 1982). El fosfato presentó a veces concentraciones más altas en el fondo que en superficie. JUANNEAU Y LATOUCHE (1982), comprobaron que cuando existe un excedente de fosfato en el agua, este fosfato se incorpora al sedimento. DELMAS Y TREGUER (1983) encontraron el valor de 3 μM como el nivel de equilibrio; por debajo de este valor domina el fenómeno de desorción y por encima de él se adsorbe el fósforo. En la ría de Mogro, podemos decir que aún cuando exista mucho fósforo atrapado en el sedimento, recibe la mayor parte del río y se comporta como un exportador al mar.

La concentración de los compuestos del nitrógeno inorgánico en el agua resultan de los procesos biológicos de asimilación, mineralización, nitrificación y desnitrificación (KEENEY, 1972).

Durante casi todo el ciclo estudiado el nitrógeno inorgánico se presentó -con altas concentraciones- en forma de nitrato (figuras 4.20 a 4.22). En los meses de septiembre y octubre el amonio llegó a representar el 40% del total de nitrógeno inorgánico, coincidiendo con una alta producción en la ría (Capítulo 5). El amonio es considerado por algunos autores como el principal nutriente nitrogenado para el fitoplancton, debido a su estado de reducción (BOUGIS, 1974; SMAYDA, 1983). McCARTHY et al. (1977) demuestran que la asimilación del NO^-_3 NO^-_2 está regulada por la concentración de amonio; a concentraciones mayores de 1 a 1.5 μgrat N/l (en forma de NH^+_4) se suprime la asimilación de nitrato, la cual se activa a bajas concentraciones de amonio. El amonio en concentraciones superiores a 0.5 μgrat N/l inhibe la actividad de la enzima nitrato reductasa en el fitoplancton y esta inhibición aumenta de forma exponencial (MARTINEZ et al., 1987).

Los nitritos participan en los procesos del ciclo del nitrógeno como especie química intermedia en los procesos de nitrificación del amonio o desnitrificación del nitrato. Cuando mayor concentración de nitrito hubo fue en otoño e invierno. Según MAESTRINI et al., (1982), en la primavera y verano el nitrógeno puede ser asimilado por el fitoplancton bajo la forma nítrica y amoniacal. Al final de verano y otoño los nitritos y el amonio se acumulan.

VACCARO Y RYTHER (1960), establecieron que en lugares con escasez de luz y exceso de nutrientes, el fitoplancton puede producir una reducción parcial del nitrato. Por otra parte, el fitoplancton puede producir nitrito (FRENCH et al., 1983). En la ría de Mogro no encontramos relación entre los máximos de clorofila y los máximos de nitrito. Esta falta de correlación, junto con los altos niveles de nitrato para la producción de nitrito por el fitoplancton (OLSON et al., 1980) y la presencia de amonio (COLLOS y SLAWYK, 1983) sugiere que en la ría los procesos de nitrificación pueden ser importantes. La nitrificación es la vía por la cual se lleva a cabo la oxidación del nitrógeno; ésta ocupa un lugar central en el ciclo del nitrógeno. BILLEN (1975); SOMVILLE (1978); CHRISTOFI, et al., (1979); OWENS (1986), confirmaron la presencia de zonas de nitrificación en estuarios.

El análisis de componentes principales, realizado sobre las variables físicas y químicas, interpretamos como segunda tendencia de variación en la ría la nitrificación.

Es un hecho de aceptación bastante generalizada, una mayor actividad microbiana en las zonas que presentan máximos de partículas (WARD et al., 1982; MORRIS et al., 1982b; GARFIELD et al., 1983). Según KNOX et al., (1986); la mayoría de las bacterias nitrificantes, presentes en los estuarios, proceden del agua dulce y la salinidad influye negativamente en ellas (AKAI et al., 1983). Otra fuente de bacterias nitrificantes son los sedimentos, los cuales liberan bacterias mediante los procesos de resuspensión mareal (CERCO, 1981).

6.2.- SUCESION ANUAL DEL FITOPLANCTON

En la ría dominaron durante gran parte del año los organismos fitoplanctónicos que hemos denominado "nanoplancton" y Cryptofíceas de pequeño tamaño. Por ello, la expresión de la comunidad fitoplanctónica, en número de células/ml, da cifras muy elevadas. estos organismos, por su elevada razón superficie/volumen, son capaces de aprovechar más eficazmente la luz y los nutrientes, cuando alguno de ellos o ambos se encuentran en condiciones limitantes para otras especies. En estuarios, es frecuente encontrarse con especies de pequeño tamaño (ORTNER et al., 1980. Según CLOERN et al., (1983), la descarga del río favorece el florecimiento de especies pequeñas y nadadoras en medio estratificado, que siendo lavadas en dirección al mar necesitan una elevada razón producción/biomasa, para obtener un reclutamiento superior a la tasa de dispersión del río (KETCHUM, 1954), por lo que pueden crecer en las áreas interiores del estuario y soportar variaciones de salinidad (SMAYDA, 1983).

Las diatomeas propias de aguas turbulentas, de rápida tasa de crecimiento, se ven favorecidas en el estuario por la presencia de suficientes nutrientes. Estuvieron presentes durante todo el año (figura 5.2).

Las dinoflageladas, propias de aguas estratificadas, pobres en sustancias nutritivas, se presentaron en escasa concentración y sólo fueron importantes en los meses de abril, junio y octubre.

Las especies encontradas poseen una alta tolerancia a la salinidad. Estas algas pueden en ciertas condiciones resistir un aumento considerable de salinidad (WETHERELL, 1961; VOSJAN y SIEZEN, 1968; CLEAVE et al., 1981; CLOUTIER Y COTE, 1985); tal adaptación de las algas a la gran variabilidad espacio-temporal de la salinidad confiere al medio estuárico una gran importancia en el plano de la productividad biológica.

En la literatura se citan diferentes clasificaciones de fitoplancton de estuarios. Se clasifica como fitoplancton autóctono (DAY, 1981; SMAYDA, 1983) especies como Skeletonema costatum, Nitzschia closterium, Coscinodiscus granii, Biddulphia mobilensis, Prorocentrum micans, Pleurosigma sp. y diversas Melosira. Algunas de ellas son nombradas por MOMMAERS (1969) como temporalmente autóctonas. Son propias de aguas salobres diversos Chaeteceros como Ch. danicum, Ch. decipiens; dinoflageladas como Glanodium sp. Protoperidinium achromaticum, Ceratium fusus, C. furca, Prorocentrum balticum.

La casi totalidad de las especies encontradas en la ría de Mogro en el período de estudio han sido citadas anteriormente en otros estuarios, en aguas neríticas y oceánicas cercanas ESTRADA, (1982); URRUTIA, (1986). TRAVERS Y TRAVERS, (1969), encontraron en el mes de julio, en aguas oceánicas del entorno, la mayor parte de las especies identificadas en este estudio, todas ellas en aguas superficiales. REGUERA (1982) en la Bahía de Santander cita muchas de las especies encontradas en la ría de Mogro. Sin embargo, aunque durante todo el estudio dominaron diatomeas, encontró en otoño la dominancia de dos dinoflageladas: Dinophisis caudata y Ceratium tripos. Otra de las diferencias notables fue la presencia en la Bahía prácticamente durante todo el año de Skeletonema costatum. En la ría de Mogro esta especie se dio sólo en Octubre.

Para la descripción de la sucesión anual del fitoplancton se han descrito varios modelos entre los que podíamos destacar el de MARGALEF (1958) con tres estadios y el de QUEGUINER Y TREGUER (1984) con cinco. Durante todo el ciclo estudiado -como he comentado- se dieron células pequeñas con altas tasas de crecimiento, típicas de aguas desestabilizadas. En los meses de verano (agosto y septiembre) los nutrientes decayeron y se encontraron diatomeas típicas del estadio 2 de la sucesión de Margalef (diatomeas grandes de velocidad de crecimiento relativamente bajo). En octubre, con la caída de las primeras lluvias, de nuevo aparecieron especies del estadio 1. La aparición de especies oportunistas (Skeletonema costatum) es una de las respuestas con que el ecosistema reacciona ante el aporte de energía anormal, denominado retrogresión por RAPPORT et al (1985).

Las dinoflageladas que se presentaron en abundancia (Gymnodinium minus, Prorocentrum balticum, Gymnodinium sp.) no fueron las típicas de etapas más avanzadas de la sucesión.

La ría de Mogro es un ecosistema fuertemente influído por las condiciones climáticas, por las fertilizaciones del río, por el efecto de las corrientes y mareas; todos estos factores hicieron que se presentara como un sistema inmaduro, con escasa complejidad en las relaciones de la comunidad. Esta situación es típica de los estuarios y reseñada por diversos autores (DELMAS et al., 1983; LEVASSEUR et al., 1984; FILARDO Y DUNSTAN, 1985). Los valores observados para la diversidad (figura 5.16) y la dominancia de pequeñas flageladas y pequeñas diatomeas podrían estar en relación con la concentración de nutrientes en adición a la turbulencia. Estos factores podrían contribuir al mantenimiento del sistema en una etapa juvenil aunque diversificada (MARGALEF, 1978).

La composición específica del fitoplancton en el ciclo anual se vio modificada profundamente en función de las condiciones hidrológicas. De los resultados obtenidos en el ACP aplicado a las especies de fitoplancton encontramos asociaciones de especies que explicarían la variabilidad obtenida en función de la dinámica del estuario. Las especies de aguas de temperatura y salinidad elevada (Grupo I) se opusieron a las de origen fluvial (Grupo IV). Estas especies pueden mantenerse durante todo el año y pueden eventualmente desarrollarse pero son rápidamente dominadas por las floraciones de especies oportunistas (Grupo III). La distribución de estos grupos a lo largo del ciclo viene determinado por la salinidad, temperatura, nutrientes. La influencia de la estratificación térmica y disminución del río favorece el desarrollo de ciertas especies neríticas como Chaetoceros (Grupo II).

6.3.- CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES BIOLOGICAS

Las medidas de biomasa expresadas como número de células y clorofila a, respectivamente, no siempre tienen una evolución paralela. En la ría de Mogro encontramos una buena correlación entre estas dos variables medidas (r=0.65 para 330 pares de variables). La clorofila a es un buen índice de la biomasa fitoplanctónica (DENMAN&PLATT, 1976; LEGENDRE, 1981). Sin embargo, las comparaciones han de efectuarse sobre escalas temporales y espaciales lo suficientemente cortas para prevenir las posibles adaptaciones fisiológicas y cambios de la composición de especies (DE JONGE, 1980).

Máximos de clorofila no necesariamente se corresponden con máximos de biomasa (CULLEN 1982). Durante el período de verano, se presentaron diferencias entre estas dos variables indicadoras de biomasa. Por una parte, el máximo número de células correspondió al

mes de julio, mientras que la máxima concentración de clorofila a se dio en junio. Por otra parte, la presencia -y a veces dominancia- de organismos pertenecientes al nanoplancton hizo aumentar el número de células (figura 5.1) mientras que la clorofila presentó concentraciones bajas (figura 5.4).

Todos estos desfases obtenidos entre ambas medidas vienen determinados por una serie de factores que afectan a la concentración de clorofila a en la célula, como son: la intensidad de luz (DESORTOVA, 1981; PERRY et al., 1981; FALKOWSKI, 1983; HOEPFFNER, 1984), disponibilidad de nutrientes y estado fisiológico de la célula (edad de la célula, estado metabólico). A estos factores habría que añadir los debidos a errores de la técnica analítica, como son la destrucción de células delicadas durante la filtración (KALFF, 1972).

La biomasa fitoplanctónica estuvo fuertemente correlacionada con el CAP; cuando se utilizaron todos los pares de variables clorofila a-CAP obtenidos a lo largo del ciclo de muestreo, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.53 (para 328 grados de libertad) con un coeficiente de seguridad del 99%. Estas relaciones se intensificaron cuando el análisis fue realizado por estaciones de muestreo. La recta de regresión obtenida en la estación 2 fue:

$$CAP = 0.98 + 1.65\ [\text{clorofila a}] \qquad r = 0.63$$

Correlaciones altas entre estas dos variables encontraron COTE y LACROIX (1978.B) en el fiordo Saguenay. La clorofila a es buen indicador de la producción (FURNESTIN, 1973). Los factores que afectan a la biomasa fitoplanctónica afectarán a la asimilación de carbono.

Los índices que utilizamos para poder conocer la estructura de la comunidad -índice de diversidad e índice de uniformidad- presentaron una fuerte correlación ($r = 0.84$, $p < 0.01$). Correlaciones semejantes obtuvieron SUTCLIFFE (1960); MARGALEF (1965); GHILAROV & TIMONIN (1972); DELMAS et al (1983). Sin embargo, URRUTIA, (1986), no obtuvo correlación significativa entre la diversidad y la biomasa. Generalmente, la correlación entre estas variables es debida al aumento de una o pocas especies. Según RAPPORT et al., (1985) los incrementos de biomasa en áreas forzadas son signo de adaptación oportunista de alguna especie o grupo que dominan en abundancia, reduciendo la diversidad. Los aumentos de biomasa en los períodos de florecimientos (marzo y junio) fueron debidos a Cryptomonas sp. mientras que en julio se debió a

Rhabdonema arcuatum.

La correlación negativa entre el índice de diversidad y el CAP nos indica que una mayor producción primaria se corresponde con una diversidad más bien baja.

6.4.- INFLUENCIA DE LAS MAREAS EN LA COMUNIDAD DE FITOPLANCTON. RITMO MAREAL

Los organismos fitoplanctónicos en los estuarios están sometidos a una gran inestabilidad de condiciones físicas y químicas, fluctuantes en un corto período de tiempo, de las que parecen ser responsables -en gran medida- las corrientes de marea (MARGALEF et al., 1955).

Encontramos una fuerte correlación entre la biomasa y las fases de marea, obteniéndose mayor concentración de biomasa en bajamar que en pleamar. Estas observaciones están de acuerdo con los trabajos de numerosos autores (GORDON, 1975; THERRIAULT Y LACROIX, 1976; COTE Y LACROIX, 1979; DEMERS et al., 1977; BAILLIE Y WELSH, 1980; MARIÑO Y CAMPOS, 1980; BLANCO, 1985). RIAUX Y DOUVILLE (1980) apuntaron que estas diferencias serían debidas a causas puramente mecánicas, por un efecto de concentración de células. La concentración de biomasa fue mayor en la estación más interna (E-3) que en la más externa (E-1). La ría perdería células por difusión y se produciría una disminución paulatina de la abundancia hacia el exterior. Explicación similar dan MARGALEF et al., (1955), BLANCO (1985).

La asimilación de carbono no presentó diferencia significativa con las corrientes de marea, lo cual nos corrobora la idea -que ya habíamos apuntado- de que las células fitoplanctónicas presentan una alta resistencia a las fluctuaciones de salinidad (CLOUTIER et COTE, 1985).

La influencia de la marea en la estructura de la comunidad de fitoplancton fue diferente en las distintas partes de la ría, dependiendo de su cercanía o lejanía al mar (ver apartado de heterogeneidad espacial).

6.5.- EVOLUCION ANUAL DE LA PRODUCCION

Los valores de producción primaria encontrados a lo largo del año (Figura 5.6) así como los máximos encontrados (17 mg C/m^3/h en junio y 16.3 mg C/m^3/h en octubre) significan que la ría de Mogro es altamente

FACULTAD DE CIENCIAS
BIBLIOTECA
GRANADA

productiva si se la compara con sistemas similares de la costa Cantábrica, si bien hay que señalar que los estudios de este tipo son muy escasos en dicha costa. En otras zonas del Golfo de Vizcaya se ha encontrado valores en torno a 8 mg C/m^3/h en primavera (FLOS, 1982), y en la ría de Plencia (Vizcaya), un máximo de 16.3 mg C/m^3/h en junio (ELOSEGUI et al., 1987).

La producción por unidad de biomasa se calculó mediante el índice de asimilación (mg C (mg Cl a)$^{-1}$ h^{-1}). Este índice puede indicar máxima eficiencia fotosintética, si bien puede implicar tasas de crecimiento específico de fitoplancton (FALKOWSKI, 1981). Según THERRIAULT (1977) estos índices son adecuados para caracterizar la dinámica de la comunidad de fitoplancton, aunque HARRIS (1986) recomienda abandonar esta clase de índices sintéticos.

NUNES et al., (1985) dan valores máximos de 10 mg C(mg Cl a)$^{-1}$ h^{-1} en el período de máxima productividad en la ría de Arosa. FLOS (1982) obtiene 1 a 2 mg C(mg Cl a)$^{-1}$ h^{-1}. FRAGA (1976) para la ría de Vigo 5 mg C(mg Cl a)$^{-1}$ h^{-1}. LANNERGREN (1978) Y SKJOLDALL & LANNERGREN (1978), 18 y 13 mg C (mg Cl a)$^{-1}$ h^{-1} respectivamente para Lindaspole (Noruega).

Los valores máximos encontrados, en la ría de Mogro, fueron de 17 mg C (mg Cl a)$^{-1}h^{-1}$, en los períodos de máxima producción de marzo, junio y octubre; durante el resto del año no superaron el valor de 5 mg C (mg Cl a)$^{-1}h^{-1}$. El máximo encontrado está cercano al valor máximo posible para el índice que, según FALKOWSKI (1981), es de 25 mg C (mg Cl a)$^{-1}$ h^{-1}, en condiciones de saturación luminosa.

Los factores que influyen en el índice de asimilación son:

-Régimen de nutrientes (THOMAS 1969; FALKOWSKI Y STONE, 1975).

-Temperatura (EPPLEY, 1972).

-Volumen celular (MALONE 1971 a, b; McCARTHY et al., 1974).

-Luz (BEARDALL Y MORRIS, 1976).

En la figura 5.10 se muestra la relación encontrada entre el índice de asimilación y los nutrientes (representados por el cociente N:P). La eficiencia fotosintética fue mayor cuando los valores de la relación N:P estuvieron comprendidos entre 6 y 18. Sin embargo -y coincidiendo con FLOS (1982)- resulta arriesgado querer interpretar relaciones de este tipo, ya que tanto la eficiencia como la razón N:P son cocientes, por lo que pueden observarse valores idénticos con valores absolutos del numerador y denominador muy distintos.

El efecto de la temperatura (figura 5.11) fue distinto en invierno que en verano. Nos encontramos con un fitoplancton adaptado a la temperatura en que se desarrolla. Así, en invierno y principios de primavera la respuesta fue mayor cuando disminuyó la temperatura (la temperatura óptima osciló entre 11 y 13^{o}C), mientras que en verano principios de otoño el índice de asimilación aumentó cuando aumentaba la temperatura (18 a 20^{o}C).

El efecto de la temperatura en el índice de asimilación se debe a la variación de la tasa enzimática de la fijación de carbono. Según EPPLEY, (1972), los índices de asimilación no están correlacionados con la temperatura.

El fitoplancton a lo largo de la sucesión estacional se adapta a las temperaturas en las que se encuentra, y especies de agua fría pueden tener tasas fotosintéticas tan altas o más altas que las especies de aguas más templadas (MALONE, 1976). Durante estos períodos cuando la temperatura sufre un cambio drástico, en un período de tiempo corto se pueden observar relaciones entre la temperatura y el índice de asimilación (MALONE, 1977).

De los resultados obtenidos podemos deducir que los períodos productivos de marzo y junio estuvieron relacionados con el aumento de Cryptomonas sp. La asociación del índice a una especie determinada ya fue expuesta por SINCLAIR, (1978). Los aumentos del índice de asimilación estuvieron relacionados con el cambio de composición de especies más que el estado fisiológico o el efecto de la temperatura.

En la ría de Mogro las variaciones de producción y biomasa, a lo largo del ciclo anual, vinieron impuestas en cada momento por un factor diferente: condiciones ambientales de lluvia y temperatura; intensidad de luz y transparencia del agua; dinámica del estuario. En general los nutrientes estuvieron presentes en niveles adecuados como para no ser

limitantes. El que los nutrientes no sean responsables del crecimiento del fitoplancton, en estuarios, ya fue expuesto por GOLDMAN et al., (1979); McCARTHY y GOLDMAN, (1979); HARRIS, (1980). A continuación se discuten los factores que pudieron intervenir en la producción y biomasa del fitoplancton en cada época del año:

En febrero, la intensidad de luz fue baja (20.5 W m^{-2}). En el mes de marzo las temperaturas alcanzaron su mínimo (10.7°C); el aumento de biomasa fitoplanctónica y de producción puede asociarse al aumento de radiación luminosa (M = 64.3 W m^{-2}). Esta, a corto plazo, interviene decisivamente en la abundancia de las poblaciones (LEWIS, CULLEN Y PLATT, 1984; PENNOCK, 1985; GAWLER Y HORNE, 1985). Otros autores encontraron máximos en el mes de marzo en ecosistemas adyacentes (REGUERA, 1982; FLOS, 1982). El aumento de biomasa -en marzo- llevó consigo una disminución de la diversidad como consecuencia del aumento de una sola especie Cryptomonas sp. CLOERN et al., (1983) estudiaron el efecto de la descarga del río en la comunidad de fitoplancton. Cuando la descarga del río es grande, se favorece el florecimiento de especies pequeñas que siendo lavadas en dirección al mar requieren una elevada tasa de crecimiento para compensar las pérdidas. Cryptomonas sp alcanza sus máximos con el flujo más rápido en bajamar, hundiéndose hacia aguas intermedias (figura 5.2). En pleamar los valores son menores lo cual manifiesta la pérdida por difusión.

En los meses de abril y mayo, la escasez de biomasa podría venir determinada por las pérdidas debidas al importante flujo superficial, que impedirían la acumulación de organismos al disminuir su tiempo de residencia. Explicación semejante dan, KETCHUM, (1954); WYATT Y QUASIN, (1973); SMAYDA, (1983); STOCKNER Y SHORTREED, (1984).

Las tasas de pérdida para toda la ría son mucho mayores que las tasas de crecimiento. FILARDO Y DUNSTAN, (1985), mediante un análisis de correlación encontraron que el crecimiento del fitoplancton estaba correlacionado negativamente con la descarga del río; ésta está relacionada con la tasa de flujo y, por lo tanto, con el tiempo de residencia de las células. En la ría de Mogro y durante estos meses, la descarga del río fue de 10 m^3/seg en abril y 26.4 m^3/seg en mayo. Por otra parte, cuando la descarga de un río es elevada es conocido (CLOERN et al., 1983) que la penetración de la luz puede verse dificultada por los sólidos en suspensión. Durante el mes de mayo el coeficiente de extinción de luz fue alto (0.97 m^{-1}), lo cual hizo que llegara al fondo el 10% de la intensidad de luz de superficie (11 W m^{-2} en E-3 y 5.2 W m^{-2} en E-2).

En los meses de verano (junio y julio), la disminución del caudal del río (4.8 m^3/seg en junio y 2.7 m^3/seg en julio) tiende a reducir la velocidad superficial y por lo tanto, a aumentar el tiempo de residencia de las células. La disminución del caudal del río llevó consigo una disminución del parámetro de estratificación vertical de la salinidad, siendo ésta prácticamente uniforme (sobre todo en los momentos de pleamar). La estabilidad física (podríamos decir relativa) del medio, en esta época del año, se debió principalmente a la estratificación térmica. Con esto se logra una estratificación de densidad apropiada para que la velocidad de natación de los individuos no se vea sensiblemente rebajada (BLASCO, 1978). Durante los meses de junio y julio se encontraron procesos de fotoinhibición en superficie (figura 5.6) registrándose producciones más altas en el punto medio y fondo que en superficie. Fenómenos de fotoinhibición han sido expuestos por otros autores (CURL Y SMALL, 1965).

En agosto, aunque la concentración de nutrientes disminuyó éstos no llegaron a ser limitantes. La abundancia fue alta, sin embargo la producción fue baja. Coincidiríamos con FLOS (1982) en que el plancton se adapta continuamente al medio que él mismo modifica y, dadas unas condiciones nuevas, tarda un cierto tiempo en adaptarse, por lo que existen desfases que complican estas relaciones. Este tipo de desfases o la inercia del sistema pueden ser los responsables de la baja productividad obtenida en este mes.

En septiembre, excepto en la 2, en todas las estaciones se dio una producción elevada (figura 5.6), aunque en momentos mareales distintos. En este mes la estratificación de σ_T fue mínima (figura 4.9). En otros estuarios pequeños también se ha observado una relación negativa entre la estratificación del medio, la producción primaria y la clorofila (IVERSON et al., 1974; PARSLEY Y BABER, 1976; SINCLAIR, 1978; SINCLAIR et al., 1981).

En octubre, con las primeras lluvias hubo un aumento de los nutrientes que ocasionó el florecimiento de especies oportunistas como Skeletonema costatum, con una alta producción.

En noviembre y diciembre de nuevo aumentó el caudal del río, la intensidad luminosa y la temperatura disminuyeron, la biomasa fue baja (figura 5.1), igual que la producción (figura 5.6). Sin embargo, el índice de asimilación fue alto (figura 5.8). Podría ser debido al aumento de la

fracción detrítica como consecuencia de la preponderancia de la descomposición sobre la síntesis (GOMEZ FIGUEIRAS, 1985) limitado por el medio físico y la luz, dando como resultado un aumento del índice de asimilación.

6.6.- HETEROGENEIDAD ESPACIAL EN LA RIA

Las poblaciones se encuentran estructuradas en el espacio. El análisis de la organización espacial del fitoplancton debe tener en cuenta los procesos que se desarrollan en el tiempo, mientras que el estudio de la evolución temporal no puede concebirse sin considerar también el desplazamiento de las masas de agua (LEGENDRE, 1981). DENMAN Y PLATT (1976) proponen que la distribución espacial del fitoplancton resulta de la relación entre la tasa de crecimiento y la tasa de disipación de la energía cinética turbulenta, que en estuarios viene controlada por la propagación de la marea (LEGENDRE, 1981).

Los análisis estadísticos realizados, para una misma estación, nos indicaron la homogeneidad de las masas de agua, mientras que al comparar las estaciones aparece una heterogeneidad espacial.

El que no encontremos diferencias entre las profundidades de una misma estación puede ser debido a que la escasa profundidad de la ría permite que las corrientes de marea y la acción del viento basten para la frecuente agitación vertical de sus aguas. Explicación similar fue dada por MARGALEF et a., (1955) para la ría de Vigo. La turbulencia existente en la ría hace que el fitoplancton se distribuya homogéneamente. En manchas de fitoplancton menores de ciertos tamaños críticos se puede pensar que el fitoplancton funciona en una primera instancia, como materia orgánica particulada sometida a las leyes de difusión y transporte de las masas de agua (PLATT, 1972; DENMAN Y PLATT, 1976; FASHAM Y PUGH, 1976; OKUBO, 1978). Según PINGREE et al., (1977) Y LEGENDRE (1971), existe un control de la distribución por los factores físicos de traslación y mezcla propios del estuario.

El fitoplancton posee una serie de respuestas fisiológicas que moderan la tasa de división celular de acuerdo con el ambiente externo. Hay una relación entre los gradientes ambientales y la estructura de la comunidad. Los gradientes ambientales, aparentemente formados como resultado de la mezcla -entre el agua fluvial y la nerítica- dan como resultado una variedad de características físicas y químicas que ayudan a

modificar los ambientes (habitats) del fitoplancton (MUKAI&TAKIMOTO, 1985). Los resultados obtenidos, caracterizan a las estaciones como:

Estación 1.- La más salina, con una baja concentración de nutrientes, temperaturas elevadas, elevada productividad, diversidad alta y biomasa baja.

Estación 2.- De menor salinidad, alto contenido en nutrientes, baja temperatura, productividad elevada, diversidad y biomasa bajas.

Estación 3.- Menos salina, de mayor contenido en nutrientes, temperatura baja, productividad y diversidad baja y máxima biomasa.

Las comunidades de fitoplancton encontradas en el estudio no variaron mucho de una estación a otra (fueron especies eurihalinas, en su mayoría). Sin embargo, lo que sí varió fue la respuesta de la comunidad a los distintos ambientes creados. Así, por una parte, el progresivo aumento de nutrientes (E1 - E3) favoreció la ocurrencia de varias especies mejor adaptadas a la utilización de concentraciones altas de los mismos (Cryptomonas sp., Skeletonema costatum).

Esto hizo que la biomasa fuese alta, a la vez que la diversidad disminuía, en la estación 3; mientras que en la estación 1, donde los nutrientes disminuían la biomasa fue menor y la diversidad mayor. La estación que presentó menores índices de diversidad fue la 2. Podríamos decir que la falta de estabilidad del medio influye en el grado de orden interno de las comunidades. La estación 1 es prácticamente marina y la estación 3 está menos influida por el mar que la 2 y puede organizarse mejor que ésta. La estación 2 es la que está sometida a mayores fluctuaciones ambientales entre las condiciones de río y del agua costera, que resultan en una falta de estabilidad y organización.

Por otra parte, las células vegetales se desplazan, por mecanismos de transporte -advectivos y difusivos- en unas condiciones físicas y químicas susceptibles de modificar su eficiencia fotosintética. Los mayores valores del índice de asimilación se dieron en la estación 1 en los momentos de pleamar. Es decir, la eficiencia fotosintética fue mayor cuando aumentaba la salinidad y temperatura, y disminuía la concentración de nutrientes. En las estaciones 2 y 3, aunque la biomasa

fue mayor el fitoplancton gastaría más energía en procesos de osmorregulación celular.

En estas estaciones los valores de carbono asimilado fueron mayores; sin embargo, la eficiencia fotosintética fue menor. Otro rasgo que confirma la mayor eficiencia fotosintética a altas salinidades fue la aparición en la estación 1 de diferencia significativa entre las masas de agua del LB-fondo con las del resto, en la producción y eficiencia. Estas aguas fueron las más productivas y las que presentaron a su vez mayores salinidades (figura 4.1). El parecido entre LB y fondo podría ser explicado por la hipótesis de KJERFVE (1982), según la cual el agua lateral tiene una tendencia después de complejas interacciones a hundirse al fondo del canal.

FLOS (1985) encontró en el Abra de Bilbao y su entorno que la producción más elevada se logra en el exterior del estuario. Nuestros resultados indican un aumento de la productividad según el eje longitudinal de la ría en dirección hacia el mar. Lo mismo ocurre con la diversidad. Sin embargo, la abundancia es mayor frecuentemente en aguas de dominio fluvial. Resultados similares obtuvieron, McCORMICK Y QUIN (1975); SIROIS Y FREDERICK (1977); RIAUX Y GRALL (1982); IGNATIADES, (1984).

Si comparamos los períodos productivos de las tres estaciones, podemos deducir que la salinidad y el caudal del río tienen un efecto importante en la regulación de la productividad de la comunidad de fitoplancton. Las aguas de la estación 3 no resultaron productivas más que en el momento en que los flujos de agua dulce fueron lo suficientemente débiles para permitir un mayor tiempo de residencia de las células y la salinidad elevada. A comienzos del otoño la productividad fue elevada, coincidiendo con escasos flujos del río (Q septiembre = 1.8 m^3/seg, Q en octubre = 2.6 m^3/seg) y con una salinidad alta (S bajamar = 24.7, D = 2.8; S pleamar = 33.6, D = 0.86). Las aguas de las estaciones 1 y 2 sufrieron más indirectamente la influencia del caudal del río (no hay que olvidar la pérdida de pendiente y el ensanchamiento del agua) lo que permitió desarrollar productividades elevadas en primavera a pesar de los abundantes caudales del río (25 m^3/seg).

CAPITULO 7

RESUMEN Y CONCLUSIONES

RESUMEN Y CONCLUSIONES

La extrema variabilidad, tanto espacial como temporal de las características de las masas de agua que confluyen en un estuario, nos llevo a la utilización de una estrategia de muestreo, en la ría de Mogro (Cantabria) que consistió:

A.- Realización de muestreos en tres zonas distintas a lo largo del eje longitudinal de la ría. Esto nos permitió conocer el gradiente longitudinal y la influencia de los medios (marino y dulce) dependiendo de su cercanía o lejanía a los mismos.

B.- Muestreos en un punto fijo que nos permitieron conocer las características de las masas de agua que transcurren en un punto dado, durante un período de tiempo de corto (semiciclo de marea).

Este estudio se llevó a cabo durante un período de un año (1985) y nos permitió, por una parte, seguir la evolución de las condiciones hidrográficas y de las sales nutritivas que provenían del río, del mar y de las condiciones ambientales (estaciones del año). Y por otra, seguir la influencia de sus distribuciones espacio-temporales sobre la abundancia y producción del fitoplancton.

De los resultados obtenidos podemos concluir:

1º) La ría de Mogro funciona como un estuario parcialmente mezclado en el que se obtienen períodos de fuerte estratificación cuando es el río el que predomina y períodos de menor estratificación cuando es el mar el que gobierna la circulación.

2º) El río es el principal agente fertilizante del estuario, produciéndose los máximos de nutrientes en invierno, a finales de otoño y en épocas de abundantes lluvias. La distribución de nutrientes en el estuario sigue un gradiente de dilución directamente sometido a los ciclos de mareas y a la posición de las estaciones de muestreo.

3º) La ría presenta gradientes importantes de todas las variables estuadiadas, tanto en sentido longitudinal como vertical. El gradiente longitudinal (río-mar) estuvo muy marcado en

cualquier estación del año y fase de marea. Los gradientes verticales variaron temporal y espacialmente, siendo más acentuados en las estaciones internas.

4º) La amplitud de las variaciones observadas en el ciclo mareal es función de la situación geográfica del punto de muestreo, del coeficiente de marea, de la estación del año y del caudal del río.

5º) La distribución temporal y espacial de la biomasa y producción del fitoplancton fue función de los procesos físicos. El crecimiento del fitoplancton a corto plazo, estuvo gobernado por el ciclo mareal, a medio plazo tuvo como agentes condicionantes la disponibilidad de luz y el lavado a que se ve sometido por el flujo de descarga del río.

6º) La gran variabilidad de los aportes provoco amplias fluctuaciones de las comunidades fitoplanctónicas e indujo una fragilidad al ecosistema que se tradujo en una ausencia de madurez de las comunidades.

7º) La comunidad de fitoplancton parece estar en condiciones de adaptarse a las fluctuaciones físicas y químicas que se producen. La composición de especies no varió significativamente de una estación a otra, indicando que se trata de especies oportunistas, capaces de adaptarse a las fluctuaciones del medio mediante variaciones en sus estrategias de crecimiento.

8º) Como consecuencia del gradiente longitudinal establecido, la comunidad sufre modificaciones importantes en su capacidad fotosintética. Las diferencias de los índices de asimilación en las distintas partes de la ría se podrían atribuir a los mecanismos advectivos "interior-exterior" que reducen el tiempo de residencia de las células en aguas favorables. Los índices de asimilación fueron mayores en la estación más externa.

9º) La producción en las distintas partes de la ría está controlada por el caudal del río y la salinidad.

10º) Existe un esquema general de disposición de la mayor parte de las variables estuadiadas que configuran en el espacio y el tiempo la heterogeneidad del estuario.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

AKAI, O., MIKI, O & OHGAKI, S. 1983.- Nitrification model with an inhibitor effect of sea water. Ecological Modelling, 19: 189-198.

ALCARAZ, M.- 1979. Ecología, competencia y segregación en grupos de especies asociadas de copépodos del género Acartia, en ría de Vigo, I: factores ecológicos. Inv. Pesq. 43(3): 689-701.

ALCARAZ, M.- 1981. Ciclo anual de cladóceros y ostrácodos planctónicos en la plataforma continental de Vizcaya (Punta Endata). Inv. Pesq., 45: 3-16.

ALLEN, G.M. 1964.- Estuarine destruction -a monumentto progress. Trans 29 th. N.A. Wildl and Res. Conf.

ALLEN, T.F. and KOONCE, J.F.: 1973.- Multivariate approaches to algal stratagems and tactics in systems analysis of phytoplankton: Ecology. 54: 1234-1246.

ARIAS, E; MANRIQUEZ, M; CALDENTEI, P; SOUSA, J.M.- 1980. Hidrografía de la plataforma costera de Vizcaya y Guipúzcoa (Febrero a Diciembre de 1976): Inv. Pesq. 44(1): 13-34.

AUFRET et J.L. DOUVILLE. 1974. Observations sur la dynamique des sables de la Pierre Noire (Baie de Morlaix, Finistére, France). Bull. Bureau de Rech. Geol. Min. 1: 5-18.

BAILLIE, P.W., and B.L. WELSH, 1980.- The effect of tidal resuspension on the distribution of intertial epipelic algae in an estuary. Est. Coastal Mar. Sci. 10:119-142.

BALLESTER, A.; ARIAS, E.; CRUZADO, A.; BLASCO, D.; CAMPS, J.- 1967. Estudio hidrográfico de la costa catalana, de Junio de 1965 a Mayo de 1967. Inv. Pesq. 31(3):621-662.

BEARDALL, J., and I. MORRIS. 1976. The concept of light intensity adaptation in marine phytoplankton. Some experiments with Phacodatcylum tricornutum. Mar. Biol. 37:377-387.

BEWERS, J.M.; YEATS, P.A. 1978.- Trace metals in the waters of a partially mixed estuary. Est. Coast. Mar. Sci. 7:147-162.

BIENFAG, P.K.; HARRISON, P.J.- 1984. Sinking-rate response of natural assemblages of temperate and subtropical phytoplankton to nutrient depletion. Mar. Biol., 83:293-300.

BILLEN, G. 1975.- Nitrification in the Scheldt estuary. Est. Coastal Mar. Sci. 3, 79-89.

BLANCO, J. 1985.- Algunas características del fitoplancton de Lorbé (Ría de Ares y Betanzos) en primavera. Bol. Inst. Esp. Oceanogr.2(2):17-26.

BLASCO, D. 1971.- Composición y distribución del fitoplanctón en la región de las costas peruanas. Inv. Pesq.35:61-112.

BLASCO, D. 1978.- Observations on the diel migration of marine dinoflagellates of the Baja California Coast. Mar. Biol., 46: 41-47.

BLASCO, D.; M. ESTRADA; B.H. JONES.- 1980. Relationship between the phytoplanckton distribution and composition and the hydrography in the northwest African upwelling region near Cabo Corbeiro. Deep-sea Res., 27(A): 799-821.

BLASCO, D.; M. ESTRADA.; B.H. JONES.- 1981. Short time variability of phytoplankton populations in upwelling regions-the example of North West Africa. In Coastal Upwelling Ed. F.A. Richards. American Geophysical Union, pp. 339-347.

BOUGIS, T.- 1974. Ecologie du plancton marine: Le phytoplancton. Ed. Masson, París, 196 pgs.

BOURRELLY, P.- 1966. Algues vertes. Ed. N. Boubée & Cie. París.

BOURRELLY, P.- 1968. Les Algues d'eau douce. Algues jaunes et brunes. Ed. N. Boubée & Cie. París.

BOURRELLY, P.- 1970. Algues bleues et rouges. Ed. N. Boubée & Cie. París.

BOWDEN, K.F.- 1980. Physical factors: salinity temperature circulation and mixing processes. In Chemistry and Biogeochemistry of estuaries Ed. by E. Olausson and I. Cato. London, 38-68.

BOWDEN, K.F.; GILLIGAN, R.M.- 1971. Characteristic features of estuarine circulation as represented in the Mersey Estuary. Limnol. Oceanogr., 16(3):490-502.

BOWDEN, K.F.; HAMILTON.P.- 1975. Some experiments with a numerical model of circulation and mixing in a tidal estuary. Est. Coast. Mar. Sci., 3:281-301.

BROCK, T.D.- 1973. Biología de los microorganismos. Ed. Omega. Barcelona. 741 pp.

BUCH, K.- 1930. Die Kholensaurefaktoren des Meerwa Ssers. I. Rapp. Cons. Explor. Mer. 67, 5-88.

BUTCHER, R.W.- 1967. An Introductory Account of the Smaller algae of British Coastal Waters. Parte IV. Cryptophyceale Her Majesty's Stationery Office. London, 54 pp.

CANTERAS, J.C.; L. PEREZ; A. MONTALBAN.- 1986. Estudio del impacto ambiental que produciría la construcción de un dique de escollera en la desembocadura del río Pas. Informe Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca. Cantabria.

CENDRERO, A.- 1977. Caracterización cuantitativa del desarrollo histórico del relleno de la Bahía de Santander, un proceso natural activado por el hombre. Rev. de Obras Públicas. 797-808.

CENDRERO, A.; J.R. DIAZ DE TERAN; E. FLOR; E. FRANCES; J.R.G. LASTRA; J. MARTINEZ, 1986. Guía de la naturaleza de Cantabria. Ed. Estudio. Santander. 256 pp.

CERCO, C.F.- 1981. Nitrification in the Upper tidal James River. In.: Estuaries and Nutrients (Neilson, B.J. & Cronin, L.E., eds.). Humana Press, Clifton, N.J. 413-424. pp.

CHIN, M.; CANELLI, E. & FUHS, G.W.- 1975. Effects of salinity on nitrification in the East river. J. Water Pollut. Control Fed. 47:2474-2481.

CHRISTOFI, N.; OWENS, N.J.P. & STEWART, W.D.P.- 1979. Studies of nitrifying microorganisms of the Eden estuary, Scotland. In Cyclic Phenomena in Marine Plants and Animals (Naylor, E. & Hartnoll, R.G., eds.). pp. 259-266.

CLEAVE, M.L.; D.B. PORCELLA and Y. DEAN ADAMS.- 1981. The application of batch bioassay technique to the study of salinity toxicity to freshwater phytoplankton. Water Res. 15:573-584.

CLOERN, E.J.; ALPINE, E.A.; COLE, E.B. WONG, L.J.; ARTHUR, F.J.; BALL, D.H.- 1983. River discharge controls phytoplankton dynamics in the Northern San Francisco Bay Estuary. Est. Coast. Shelf. Sci. 16:415-429.

CLOUTIER, S. et R. COTE.- 1985. Etudes expérimentalles sur la sensibilité du phytoplancton d'eau douce aux variations de salinité dans le fjord du Saguenay (Estuaire du St-Laurent). Canada. Int. Revue ges. Hydrobiol. 70, 2:187-201.

COLLOS, Y.; SLAWYK, G.- 1980. Nitrogen uptake and assimilation by marine phytoplankton. In Primary productivity in the Sea, Ed. by Falkowski, Plenum P. New York, 195-212.

COTE, R. & G. LACROIX, 1978B. Capacité photosynthetique du phytoplancton de la couche aphotique dans le fjord du Saguenay. Int. Revue ges Hydrobiol. 68(2). 233-246.

COTE, R.; LACROIX, G.- 1979. Influences des débits elevés et variables d'eau douce sur le régime saisonnier de production primaire d'un fjord subartique. Oceanol. Acta, 2:299-306.

CORREL, L.D.; FORD, D.- 1982. Comparison of Precipitation and Land Runoff as Sources of Estuarine Nitrogen. Est. Coast. and Shelf Scil, 15:45-56.

CULLEN, J.J.- 1982. The deep chlorophyll maximun: Comparing vertical profiles of chlorophyll a. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39:701-803.

CURL, H. and L.F. SMALL.- 1965. Variations in photosynthetic assimilation ratios in natural marine phytoplankton communities. Limnol. Oceanogr. 10, (suppl.). R67-73.

DAGET, J.- 1976. Les modéles mathématiques en ecologie. Ed. Masson, París, VIII, 172p.

DAY, J.H.- 1981. Estuarine Current, salinites and temperatures In Estuarine Ecology with particular reference to southern Africa. Ed. A.A. Balkema. Rotterdam, pp:27-44.

DE JONGE, N.Y.- 1980. Fluctuations in the organic Carbon to Chlorophyll a ratios for estuarine benthic diatom populations. Mar. Ecol. Prog. Ser., 2:345-353.

DELMAS, R.; TREGUER, P.- 1983. Evolution saisonniere des nutriments dans un ecosystéme eutrophe d'Europe occidental (la rade de Brest). Interactions marines et terrestres. Oceanol. Acta, Vol. 6(4): 345-356.

DELMAS, R.; HAFSAQUI, M.; LE JEHAN, S.; QUEGUINER, B.; TREGUER, P.- 1983. Impact de fertilisations a forte variabilite saisonniere et annuelle sur le Phytoplankton d'un ecosysteme eutrophe. Oceanol. Acta, Act. 17 Symp. Euro. Biol. Mar: 81-85.

DEMERS, P.E.; P.E. LAFLEUR, L. LEGENDRE and C.L. TRUMP.- 1979. Short-Term Covariability of Chlorophyll and Temperature in the St. Lawrence Estuary. J. Fish. Res. Board Can. 36:568-573.

DENMAN, K.L.; PLATT, T.- 1976. The variance spectrum of phytoplankton in a turbulent ocean. J. Mar. Res., 34(4):593-601.

DESORTOVA, B.- 1981. Relationship between Chlorophyll a concentration and phytoplankton biomass in several reservoirs in Czechoslovakia. Int. Revue Ges. Hydrobiol., 66(2): 153-169.d.

DEVINE, M.- 1983. Some features of the dynamic structure of a Deep Estuary. Est. Coast. Shelf Sci. 16:271-289.

DODGE, J.D.- 1982. Marine Dinoflagellates of the British Isles Her Majesty's Stationery Office. London, 289 pp.

DOMANSKI, P.- 1984. The diel migrations and distributions within a mesopelagic community in the North East Atlantic. 8. A Multivariate analysis of community structure. Prog. Oceanogr. 13:491-511.

DORTCH, Q.; CLAYTON, J.R.; THORESON, S.S.; BRESSLER, S.L.; AHMED, S.I.- 1982. Response of marine phytoplankton to nitrogen deficiency Decreased nitrate uptake vs enhanced ammonium uptake. Mar. Biol. 70:13-19.

DYER, K.R.- 1973. Estuaries: A physical introduction. John Wiley & Sons. New York.

DYER, K.R.- 1980. The estuary of the Exe in its context. In Essays on the Exe Estuary. Ed. by G.T. Boalch, Devon Ass. Special Vol. 2. 1-21.

ELOSEGUI, A.; J. POZO, E. ORIVE.- 1987. Plankton pulses in an temperate coastal embayment during the winter-spring transition. Est. Coast. and Shelf Sci. 27 (en prensa) 27 (en prensa).

EPPLEY, R.W.- 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea. Fish. Bull. 70:1063-1085.

ESTRADA, M.- 1978. Mesoscale heterogeneities of the phytoplankton distribution in the upwelling region of N W Africa. In: Upwelling Ecosystem eds. R. Boje y M. Tomazar, pp. 15-23. Springer Verlag.

ESTRADA, M.- 1982. Ciclo anual del fitoplancton en la zona costera frente a Punta Endata (Golfo de Vizcaya). Inv. Pesq. 46(3):469-491.

ESTRADA, M.- 1982b. Phytoplankton of the Western Mediterranean at the beginning of Autumm. Int. Revue ges. Hydrobiol. 67(4):517-532.

ESTRADA, M.- 1984. Phytoplankton distribution and composition off the coast of Galicia (Northwest of Spain). J. Pl. Res., 6(3):417-434.

ESTRADA, M. y VALLESPINOS.- 1975. Consideraciones estadísticas sobre algunos parámetros oceanográficos en la región de afloramiento del N W de Africa. Resp. Exp. Cient. B/O Cornide 4:175-183.

ESTRADA, M.; BLASCO, D.- 1979. Two phases of the phytoplankton community in the Baja California upwelling. Limnol. Oceanogr., 24(6):1065-1080.

FALKOWSKI, P.G.- 1981. Light-shade adaptation and assimilation numbers. J. Pl. Res. 3(2).

FALKOWSKI, G.P.- 1983. Light shade adaptation and vertical mixing of marine phytoplankton: A comparative field study. J. Mar. Res., 41:215-237.

FALKOWSKI, P.G. and D.P. STONE.- 1975. Nitrate uptake in marine phytoplankton. Energy sources and the interaction with carbon fixation. Mar. Biol.32:77-84.

FASHAM, M.J.R.; PUGH, P.R.- 1976. Observations on the horizontal coherence of chlorophyll a and temperature. Deep. Sea Res., 23:527-538.

FESTA, J.F.; HANSEN, D.V.- 1978. Turbidity maxima in partially mixed estuaries: a two-dimensional numerical model. Est. Coast. Mar. Sci., 7:347-359.

FILARDO, M.J.; DUNSTAN, W.M.- 1985. Hydrodynamic control of phytoplankton in low salinity waters of the James River Estuary, Virginia, U.S.A. Est. Coast. Shelf Sci., 21:653-667.

FLOS, J.- 1979. Interpretación de varios análisis de componentes principales aplicados a un conjunto de datos oceanográficos de la zona nerítica del Golfo de Vizcaya. Inv. Pesq. 43(3):611-635.

FLOS, J.- 1982. Producción primaria, clorofila "a" y visibilidad del disco de Secchi en el Golfo de Vizcaya. Inv. Pesq. 46(2):215-230.

FLOS, J.- 1985. Producción primaria en Estudio Oceanográfico del Abra de Bilbao y su Entorno. Ed. Gob. Vasco-Euskoiker III, 147-161.

FOSTER, P.; D.T.E. HUNT, K.B. PUGH and G.M. FOSTER.- 1977. A seasonal study of the distributions of surface state variables in Liverpool Bay. I. Winter data. J. exp. mar. Biol. Ecol. 29:303-313.

FOURNIER, R.O.; ERNST, R.; HARGREAVES, N.B.; VAN DET, M. DOUGLAS, D.- 1984. Variability of Chlorophyll a off Southwestern Nova Scotia in Late FALL and its Relationship to water Column Stability. Can J. Fish. Aquat. Sci, 41(12):1730-1738.

FRAGA, F.- 1976. Fotosíntesis en la ría de Vigo. Inv. Pesq. 40(1):151-167.

FRAGA, F.- 1979. La profundidad de visión del disco de Secchi y su relación con las concentraciones de fitoplancton y arcilla. Inv. Pesq. 43:519-528.

FRENCH, D.P.; FURNAS, M.J.; SMAYDA, T.J.- 1983. Diel changes in nitrite concentracion in the chlorophyll maximun in the Gulf of México. Deep Sea Res., 30:707-722.

FURNESTIN, M.L.- 1973. Phytoplancton et production primarie dans le secteur sud-occidental de la Méditerranée. Rev. Trav. Inst. Peches marit., 37(1):19-68.

GARFIELD, C.P.; T.T. PACKARD; G.E. FRIEDERICH; L.A. CADISPOTI.- 1983. A surface particle maximum layer and enhanced microbial activity in the secondary nitrite maximum of the North-eastern Tropical Pacific Ocean J. Mar. Res., 41:747-768.

GARRELS, R.M. and F.T. MACKENZIE.- 1967. Origin of the chemical compositions of some springs and lakes. In: Equilibrium concepts in natural water systes. R.F. Gould [ed]. pp. 222-242. Adv. Chem. Ser. 67.

GAWLER, M.D.; HORNE, A.J.- 1985. Phtosynthesis/light relations in the shoals of San Francisco Bay. Verh. Internat. Verein. Limnol. 22, 2183-3189.

GHILAROV, A.M. & TIMONIN, A.G.- 1972. Relationships between biomass and species diversity in marine and freshwater zooplankton communities. Oikos 23:190-196.

GLIBERT, M.P.; D.C. BIGGS; J.J. McCARTHY.- 1982. Utilization of ammonium and nitrate during austral summer in the Scotia Sea. Deep-Sea Res., 29(7A):837-850.

GOLDMAN, C.J.; J.J. McCARTHY; D.G. PEAVEY.- 1979. Growth rate influence on the chemical composition of phytoplanton in oceanic waters. Nature, 279(5710):210-215.

GOLTERMAN, H.L. 1971. Methods for chemical analysis of fresh waters. IBP Handbook nº8. Blackwell Sci. Publ. Oxford.

GOMEZ FIGUEIRAS, F.- 1985. Ecología del fitoplancton de la ría de Pontevedra. Tesis doctoral, Univ. Barcelona, Barcelona, 321 pp.

GORDON, C.M.- 1975. Sediment entrainment and suspension in a turbulent tidal flow. Mar. Geol. 18:M57-M64.

GUILLARD, R.R.L.- 1962. Pelagic plant life. In: The Depths of the Ocean. J. Murray and J. Hjort (ed.). pp. 307-386. McMillan and Co., London.

HANSEN, D.V.; RATTRAY, M.- 1966. New dimensions in Estuary classification. Limnol. Oceanogr. 11(3):319-326.

HARRIS, G.P.- 1980. Temporal and Spatial Scales in Phytoplankton Ecology. Mechanisms, Methods, Models, and Management. Can. J. Fish. Aquat. Sci.37:877-900.

HARRIS, G.P.- 1986. Phytoplankton ecology. Structure, function and fluctuation. Chapman and Hall, Ltd. London. 384 pp.

HARTLEY, B. 1986.- A check-list of the freshwater, brackish and marine Diatoms of the British Isles and adjoining coastal waters. J. Mar. Biol. Ass. UK. 66: 531-610.

HEIP, C. & P. ENGELS.- 1974. Comparing species diversity and evennes indices. J. mar. biol. Ass. U.K. 54:559-563.

HELLAND-HANSEN, B.- 1916. Nogen hydrografiscke metodor ckemetodos. Forh. Skandinaviske Naturforske mote, 16, 357-359.

HENDEY, I.N.- 1964. An Introductory account of the smaller algae of British Coastal Waters. Ed. Ministry Agr. Fish. Food, London, 317 pp.

HITCHCOCK, G.L.; SMAYDA, T.J.- 1977. The importance of light in the initiation of the 1972-1973 winter-spring diatom bloom in Narragansett Bay. Limnol. Oceanogr., 22. 126-131.

HOEPFFNER, N.- 1984. Strategies d'adaptation photosynthetique chez des diatomees de l'ocean Antartique: variations du nombre et de la talle des unites photosynthetiques. J. Pl. Res., 6(5):881-895.

HOLLIGAN, P.M.; BALCH, W.M.; YENTSCH, C.M.- 1984. The significance of subsurface chloriphyll, nitrite and ammonium maxima in relation to nitrogen for phytoplankton growth in stratified waters of the Gulf of Maine. J. Mar. Res., 42, 1051-1073.

HOPE, K.- 1968. Methods of multivariate analysis. Univ. of London Press. London.

HUTCHENSON, K.- 1970. A test for comparing diversities based on the SHANNON formula. J. Theoret. Biol. 29:151-154.

IBAÑEZ, F.- 1973. Méthode d'analyse spatio-temporelle du processus d'échantillonnage en planctologie, son influence dans l'interprétation des données par l'analyse en composantes principales. Ann. Inst. Océanogr. París, 49:83-111.

IBAÑEZ, F.- 1984. Sur la segmentation des séries chronologiques planctoniques multivariables. Oceanol. Acta, 7, 4:481-491.

IGME.- 1976. Mapa Geológico de España. Hoja nº34, Torrelavega. Serie Magna E.1:50.000. Madrid.

IGNATIADES, L.- 1984. Coarse-scale horizontal distribution of phytoplankton in a semi-enclosed coastal area. Mar. Ecology, 5(3):217-227.

IVERSON, R.L.; H.C. CURE Jr.; H.B. O"CONNORS Jr.; D. KIRK and K. ZAKAR.- 1974. Summer phytoplankton blooms in Auke Bay, Alaska, driven by wind mixing of the water column. Limnol. Oceanogr. 19:271-278.

JERLOV, N.G.- 1976. marine Optics. Elsevier Oceanography Series, 14, Elsevier, Amsterdam. 231 pp.

JERLOV, N.G.- 1977. Classification of sea water in terms of quanta irradiance. J. Cons. Internat. l'expl. Mer. 37, 281-287.

JOUANNEAU, J.M.; LATOUCHE, C.- 1982. Estimation of fluxes to the ocean from mega-tidal estuaries under moderate stimates and the problems they present. Hydrobiologia. 91:23-29.

KALFF, J.- 1972. Net plankton and nannoplankton production and biomass in a North temperate zone lake. Limnol. Oceanogr.17, pp. 712-720.

KEENEY, D.R.- 1972. The fate of nitrogen in aquatic ecosystems. Lit. Rev. 3., Water Resources Center, Univ. Wisconsin. 59 pp.

KETCHUM, B.H.- 1954. Relation between circulation and planktonic populations in estuaries. Ecology, 35: 191-200.

KETCHUM, B.H.- 1983. Estuarine characteristic In Estuaries and enclosed seas Ed by Ketchum. B.H. Elsevier, Oxford, 1-14.

KJERFVE, B.- 1982. Calibration of estuarine current crosses. Est. Coast. Shelf Sci., 15:553-559.

KNOX, S.M. WHITFIELD, D.R. TURNER and M.I. LIDDIOCOAT.- 1986. Statistical analysis of estuarine profiles: III. Application to nitrate, nitrite and amonium in the Tamar estuary Estuar. Coast. Shelf Sc. 22:619-636.

KNUDSEN, M. (ed).- 1901. Hydrographical Tables. Copenhague (reimpr. 1953).

LANNERGREN, C.- 1978. Phytoplankton production at two statios in Lindaspollene, a Norwegian land-locked fjord and limiting nutrientes studied by two kinds of bio-assays. Int. Revu. Gesamten Hydrobiol. 63:57-76.

LEGENDRE, L.- 1981. Le controle physique de la production planctonique a echelle courte et intermédiaire. Oceanis, 7(2):119-129.

LEGENDRE, L; LEGENDRE, P.- 1979. Ecologie numerique. Ed. Masson, París, 443 pp.

LEGENDRE, P.; DALLOT, S.; LEGENDRE, L.- 1985. Succession of species within a community: chronological clustering with apllications to marine and freshwater zooplankton. Amer. Nat. 125:257-288.

LEVANDOWSKY, M.- 1972. An ordination of phytoplankton populations in ponds of varying salinity and temperature. Ecology53:398-406.

LEVASSEUR, M.; THERRIAULT, J.C.; LEGENDRE, L.- 1984. Hierarchical control of phytoplankton succession by physical factors. Mar. Ecol. prgr. ser. 19:211-222.

LEWIN, J.- 1978. Blooms of surf-zone diatoms along the coast of the olimpic Peninsula Washington. Est. Coast. Shelf Sci. 7:173-183.

LEWIS, M.R.; CULLEN, J.J.; PLATT, T.- 1984. Relationships between vertical mixing and photoadaptation of phytoplankton: similarity criteria. Mar. Ecol. progr. ser. 15:141-149.

MACKENZIE, F.T. and R.M. GARRELS.- 1966. Chemical mass balance between rivers and oceans. Am. J. Sci.264:507-525.

MAESTRINI, S.; ROBERT, J.M.; TRUQUET, L.- 1982. Simultaneous uptake of ammonium and nitrate by oyster-pond algae. Mar. Biol. Lett., 3:143-153.

MALONE, T.C.- 1971.a. The relative importance of nannonplankton and netplankton as primary producers in tropical oceanic and neritic phytoplankton communities. Limnol. Oceanogr. 16:633-639.

MALONE, T.C.- 1971.b. The relative importance of nannonplankton and netplankton as primary producers in the California current systems. Fish. Bull. 69:799-820.

MALONE, T.C.- 1976. Phytoplankton productivity in the apex of the New York Bight: environmental regulation of productivity/chlorophyll a. In: The middle Atlantic continental shelf and New York Bight, pp. 260-272. Ed. by M.G. Gross. Limnol. Oceanogr. Special Symp. 2.

MALONE, T.C.- 1977. Light-saturated photosynthesis by phytoplankton size fractions in the New York Bight, U.S.A. Mar. Biol.42:281-292.

MANDELLI, E.P.; P.R. BURKHOLDER; T.E. DOHENY and R. BRADY.- 1970. Studies of primary productivity in coastal waters of Southern Long Island, New York. Mar. Biol.7:156-160.

MARGALEF, R.- 1955. Los organismos indicadores en la limnología. Min. Agricultura. Madrid.

MARGALEF, R.- 1958. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In: Perspectives in marine biology. Ed. Buzzati, Univ. Calif. Press, Berkeley, pg. 323-349.

MARGALEF, R.- 1965. Ecological correlations and the relationship between primary productivity and community structure. Mem. Ist. Ital. Idrobiol, 18. Supl.: 355-364.

MARGALEF, R.- 1966. Análisis y valor indicador de las comunidades de fitoplancton mediterráneo. Inv. Pesq. 30: 429-482.

MARGALEF, R.- 1969. Estudios sobre la distribución a pequeña escala del fitoplancton marino. Mem. R. Acad. Cienc. Artes, Barcelona 743. XL, 1.

MARGALEF, R.- 1972. Fitoplancton de la region de afloramiento del noroeste de Africa. I: pigmentos y producción Res. Exp. Cient. BIO Cornide 1:23-51.

MARGALEF, R.- 1973. Fitoplancton marino de la región de afloramiento del NW de Africa. II. Composición y distribución del fitoplancton (Campaña "Sahara II" del Cornide de Saavedra). Res. Exp. Cient. BIO Cornide, 2:65-94.

MARGALEF, R.- 1974. Ecología. Ed. Omega, S.A. Barcelona (reimpr. 1980) 951 pgs.

MARGALEF.- 1975. Diversity, stability and maturity in natural ecosystems. In: Unifying Concepts in Ecology, eds. W.H. Van Dobben and R.H. Lowe-McConnel: 151-161.

MARGALEF, R.- 1978. Life-forms of phytoplancton as survival alternatives in an unstable environment. Oceanol. Acta, 1(4):493-509.

MARGALEF, R.- 1980. Comparabilidad de las distribuciones ecológicas en el tiempo y según una dirección del espacio, y uso de pruebas estadísticas sencillas para definir propiedades demográficas de las respectivas poblaciones. Studia Ecológica, 1:7-11.

MARGALEF, R.; DURAN, M.; SAIZ, F.- 1955. El fitoplancton de la ría de Vigo de Enero de 1953 a Marzo de 1954. Inv. Pesq. 11:85-129.

MARGALEF, R.; GONZALEZ BERNALDEZ, F.- 1969. Grupos de especies asociadas en el fitoplancton del mar Caribe (NE de Venezuela). Inv. Pesq. 33(1):287-312.

MARIÑO Y CAMPOS, M.J.- 1980. Influencia de las corrientes de marea sobre la comunidad de fitoplancton en la ría de Arosa. Bol. Inst. Esp. Oceanogr. 6, 97-104.

MARTINEZ, R.- 1984. Importancia ecológica de los estuarios. En Informe de Oyambre. Diputación Regional de Cantabria.

MARTINEZ, R.; T.T. PACKARD; D. BLASCO y R.C. DUGDALE.- 1987. Ammonium regression and cross-shelf distribution of nitrate reductase activity in an up welling system. Limnol. Oceanogr. (en prensa).

MATTA, J.F. and H.G. MARSHALL.- 1984. A multivariate analysis of phytoplankton assemblages in the western North Atlantic.

McCANDLISH, S.G.- 1980. Mathematical modelling of salinity in the Exe estuary: Scientific and management aspects. In Essays on the Exe Estuary Ed by G.T. Boalch. Devon Ass. special Vol. 2: 23-39.

McCARTHY.- 1981. Nutrient dynamics: Nitrogen. In: The physiological ecology of phytoplankton. Ed. by Morris, 131-234. I. Blackwell, Oxford.

McCARTHY, J.J.; W.R. TAYLOR and M.E. LOFTUS.- 1974. Significance of nannoplankton in the Chesapeake Bay estuary and problems associated with the measurement of nannoplankton productivity. Mar. Biol.24:7-16.

McCARTHY, J.J.; TAYLOR, W.R. and TAFT, J.L.- 1977. Nitrogenous nutrition of the plankton in the Chesapeake Bay. 1. Nutrient availability and phytoplankton preferences. Limnol. Oceanogr., 22:996-1011.

McCARTHY, J.J. and J.C. GOLDMAN.- 1979. Nitrogenous nutrition of marine phytoplankton in nutrient-depleted waters. Science. 203: 670-672.

McCORMICK, J.M.; QUINN, P.- 1975. Phytoplankton diversity and Chlorophyll "a" in a polluted Estuary. Marine pollution Bull. 6, 7:105-106.

McDOWELL, D.M.; O'CONNOR, B.A.- 1977. Hydraulic Behaviour of Estuaries. Ed. Wilson, Univ. Printing House, Cambridge, 292 pp.

McLACHLAN, J.- 1961. The effect of salinity on growth and chlorophyll content in representative classes of unicellular marine algae Can. J. Microbiol., 7:399-406.

MOMMAERTS, J.P.- 1969. On the distribution of major nutients and phytoplankton in the Tamar Estuary. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 49, 749-765.

MORRIS, A.W.; BALE, A.J.; HOWLANDR, J.M.- 1982.a. The dynamics of estuarine manganese cycling. Est. Coast: Shelf. Sci. 14:175-192.

MORRIS, A.W.; BALE, A.J. HOWLANDR, J.M.- 1982.b. Chemical variability in the Tamar estuary, South-west England. Est. Coast: Shelf. Sci., 14:649-661.

MUKAI, T.; TAKIMOTO, K.; SHIBATA, T.; OKANO, A & KOBAYASHI, K.- 1981. Characteristics of environmental factors concerning with eutrophication in each sea area of Seto Inland Sea. I. Relationships between concentrations of Chlorophyll a and physical factors (Salinity and Water temperature). Bull. of the Fac. Engin. Hiroshima University 30:31-37.

MUKAI, T.; TAKIMOTO, K.- 1985. Effects of environmental gradients concerning water qualities on the structure of the phytoplankton community in the coastal Sea Est. Coast. Shelf. Sci, 20(20):147-168.

NAUWERCK, A.- 1963. Deiziehumgen Zwischen zooplanckton und phytoplankton im see Erkpn. Symbolae Botanical. Ubsalensis. Tomo 17 pg. 1-163.

N.I.O., UNESCO.- 1977. International Oceanographic Tables. 2: 141 pags.

NUNES, T.; J. MARIÑO, M.L. IGLESIAS, N. GONZALEZ; M.J. CAMPOS Y J.M. CABANAS.- 1985. Condiciones ambientales, producción primaria y sucesión de especies fitoplanctónicas en la ría de Arousa (N.W. de España). Cuad. Are. Cienc. Mar. Sem. Est. Galegos. 1:163-172.

ODUM, E.P.- 1970. Insidius alteration of the estuarine environment. Trans. Amer. Fish. Scie. 99:830-847.

ODUM, E.P.- 1972. Ecología. Interamericana. México.

OFFICER, C.B.- 1983. Physics of estuarine circulations. In: Estuaries and enclosed seas. Ed. by Ketchum. Elsevier, Oxford, 15-41.

OKUBO, A.- 1978. Horizontal dispersion and critical scales for phytoplankton patches. In Spatial pettern in plankton communities. Ed. by Steele, Plenum Press, London, pp: 21-42.

OLSON, R.J.; J.B. SOOHOO and D.A. KIEFER.- 1980. Steady-state growth of the marine diatom Thalassiosira pseudonana. Plant. Physiol., 66:383-389.

ORIVE, E.; SANTIAGO, J.; VILLATE, F.- 1984. Variabilidad de algunos parámetros físicos y biológicos en la ría de Mundaka. Cuad. Área. Cienc. Mar., Sem. Est. Gallegos, 1: 129-138.

ORTNER, B.P.; P.H. WIEBE; J.L. COX.- 1980. Relationships between oceanic epizooplankton distributions and the seasonal deep chlorophyll maximum in the North Western Atlantic Ocean. J. Mar. Res. 38(3):507-531.

OWENS, N.J.P.- 1986. Estuarine Nitrification: A naturally occurring fluidized Bed Reaction. Est. Coast. Shelf Sci., 22:31-44.

PAASCHE, E.; KRISTIANSEN, S.- 1982. Nitrogen Nutrition of phytoplankton in the Oslofjord. Est. Coast. Shelf. Sci., 14, 237-249.

PARSLEY, P.E. and R.T. BARBER.- 1976. Regulation of primary production in shallow estuaries 39th. Annu. Meet. Limnol. Oceanogr. Notes.

PENNOCK, J.R.- 1985. Chlorophyll distributions in the Delaware Estuary: Regulation by Light-limitation. Est. Coast. Shelf Sci. 21:711-725.

PERRY, J.M.; M.C. TALBOT; R.S. ALBERTE.- 1981. Phtoadaptation in marine phytoplankton: response of the photosynthetic Unit. Mar. Biol., 62:91-101.

PESSON, P.- 1979. La contaminación de las aguas continentales. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

PIELOU, E.C.- 1966. Species-diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. J. Theor. Biol., 10: 370-382.

PINGREE, D.R.; M.J. BOWMAN, W.E. ESAIAS.- 1977. Headland fronts. En Oceanic fronts in coastal processes. Ed. M.J. Bowman y W.E. Esaias. Springerverlag, Berlín, pgs. 78-86.

PLATT, T.- 1972. Local phytoplankton abundance y turbulence. Deep Sea Res., 19:183-187.

PRANDLE, D.; RAHMAN, M.- 1980. Tidal response in estuaries. Phys. Oceanogr. 10 (10):1552-1573.

PRITCHARD, D.W.- 1956. The dynamic structure of a coastal plain estuary. J. Mar. Res., 15(1):33-42.

PRITCHARD, D.W.- 1967. What is an Estuary: Physical Viewpoint. In: Estuaries. Edited by G.H. Lauff. pp. 3-5. American Ass. Adv. Sci. Washington.

QASIM, S.Z. and SANKARANARAYANAN, U.N.- 1972. Organic detritus of a tropical estuary. Mar. Biol., 15:193-199.

QUEGUINER, B.; TREGUER, P.- 1984. Studies on the phytoplankton in a coastal marine ecosystem: the Bay of Brest (Western Europe). Seasonal variations in composition, biomass and production in relation to hydrological and chemical features (1981-1982). Botanica Mar., 27(10):449-459.

RAMIREZ, D.L.- 1972. Aplicación de técnicas de ordenación. Análisis en componentes principales. Univ. de Sevilla.

RAPPORT, D.J.; REGIER, H.A.; HUTCHINSON, T.C.- 1985. Ecosystem behavior under stress. Am. Nat., 125:617-664.

REDFIELD, A.C.- 1934. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. In "James Johnstone. Memorial Volume" pp. ç176-92. (Liverpool University Press: Liverpool).

REGUERA, B.- 1982. El fitoplancton de la Bahía de Santander. En Estudio Oceanográfico de la Bahía de Santander, para su ordenación y desarrollo. Inst. Esp. de Oceanogr. Santander. Cantabria.

REGUERA, B.- 1982. Efecto de las lluvias en la Bahía de Santander y su relación con la aparición de Skeletonema costatum. Comunicación 17 Simposium Eorp. Biol. Mar. Univ. Brest.

RIAUX, C. and J. DOUVILLE.- 1980. Short-tem variations in phytoplankton biomass in a tidal estuary in Northern Britanny. Est. Coast. Mar. Sci. 10:85-92.

RIAUX, C.; GRALL, J.R.- 1982. Hydrologies et biomasse phytoplanctonique dans un estuaire de Bretagne Nord, La Penzé. Int. Revue ges. Hudrobiol. 67, 3:387-402.

RILEY, J.P.- 1971. The Oceans and the Physical processes occurring in them. In Introduction to marine chemistry, Academic Press London, po 37-59.

RODIER, J.- 1981. Análisis de las aguas. Ed. Omega, Barcelona, 1059.

ROJAS DE MENDIOLA, B. y M. ESTRADA.- 1976. El fitoplancton en el área de Pimentel. Verano de 1972. Inv. Pesq. 40(2):563-490.

ROS, J.- 1979. Prácticas de Ecología. Ed. Omega. Barcelona.

SANDERS, H.L.- 1968. Marine beruthic diversity, a comparative study. Am. Nat. 102:243-282.

SANDERSON, B.G.- 1984. Two-dimensional dispersion of plankton. Oceanol. Acta, 7, 3:323-328.

SCHELSKE & ODUM.- 1961. The role of tidal marshes in estuarine production the Conservationest New York State Conservation Dept. Albany. 15(6):12-15.

SCOR-UNESCO.- 1966. Determination of photosynthetic pigments in seawater. Monographs on Oceanographic methodo. 1:11-18. Unesco, París.

SILLEN, L.G.- 1967. Master variables and activity scales in: Equilibrium concepts in natural water systems. R.F. Gould [ed]. Adv. Chem. Ser. 67 pp. 45-56.

SILVA, P.C. 1980.- Names of classes and families of living algae Regmim. Vegetabill. 103:1-156.

SINCLAIR, M.- 1978.- Summer Phytoplankton variability in the Lower St. Lawrence Estuary. J. Fish. Res. Board. Can, 35:1171-1185.

SINCLAIR, M.; SUBBARAO, P.V.; COUTURE, R.- 1981. Phytoplankton temporal distribution in estuaries. Oceanol. Acta 4:239-246.

SIROIS, D.L.; FREDRICK, S.W.- 1977. Phytoplanton and Primary Production in the Lower Hudson River Estuary. Est. Coast. Mar. Sci., 7:413-423.

SKJOLDAL, H.R.; LANNERGREN, C.- 1978. The spring phytoplanckton bloom in Lindaspollene, a land Locked fjord II. Biomass and activity of net and nannoplankton. Mar. Biol. 47, 313-323.

SMAYDA, T.J.- 1983. The phytoplankton of estuaries. In Estuaries and enclosed seas. Ed. by Ketchum. Elsevier, Oxford, 65-101.

SOMVILLE, M.- 1978. A method for the measurement of nitrification rates in water. Water Research 12:843-848.

STEEMAN NIELSEN, E.- 1952. The use of radioactive carbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea J. Cons. Int. Exp. Mer., 18:117-140.

STOCKNER, J.G.; SHORTREED, K.S.- 1985. Whole-Lake fertilization Experiments in Coastal British Columbia Lakes: Empirical Relationship between Nutrient Inputs and Phytoplankton Biomass and Production. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42: 648-658.

STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R.- 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Can., 167:311 pp.

STUMM, W. and J.J. MORGAN.- 1970. Aquatic chemistry. Wiley-Interscience.

SUTCLIFFE, W.H.- 1960. On the diversity of the copepod population in the Sargasso Sea off Bermuda. Ecology. 41:585-587.

THERRIAULT, S.C.- 1977. Studies of the spatial heterogeneity in the phytoplankton of St. Margaret's Bay, Nova Scotia. Ph. Thesis, Dalhousie Univ. 89 p.

THERRIAULT, C. and G. LACROIX.- 1976. Nutrients, chlorophyll and internal tides in the St. Lawrence Estuary. J. Fish. Res. Boad Canada 33:2747-2757.

THIENEMANN, A. 1962.- Das phytoplanckton des Susswassers 2 Teil. L. Halfte. Stuttgart. Chrysophiceern. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhaudling.

THIENEMANN, A. 1975.- Das phytoplankton des Susswassers 2. Teil. 2 Halfte. Diatomeen. Stuttgart. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhaudling.

THOMAS, W.H.- 1969. Phytoplankton nutrient enrichment experiments off Baja California and in the Eastern equatorial Pacific Ocean. J. Fish. Res. Bd. Can. 26, 1133-1145.

TONER, R.- 1981. Interrelationships between biological chemical and physical variables in Mount Hope Bay, Massachussetts. Est. Coast. Shelf. Sci., 12, 701-712.

TRAVERS, A.; TRAVERS, M.- 1969. Le microplancton du Golfe de Gascogne au mois de Juillet. 1963. Rec. Trav. St. Mar. Endoume, 45, 61:7-69.

TREGUER, P; LE CORRE, P.; GRALL, J.R.- 1979. The seasonal variations of nutrientes in the upper waters of the Bay of Biscay region and their relation to phytoplankton growth. Deep Sea Res., 26:1121-1152.

UNCLES, R.J.; ELLIOT, R.C.A.; WESTON, S.A.- 1985. Observed fluxes of water salt and suspended sedimenting a partly mixed estuary. Est. Coast. Shelf Sci., 20(2):147-168.

URRUTIA, J.- 1986. Estudio de la estructura y funcionamiento del estuario del Nervión en relación a la dinámica del fitoplancton. Tesis Doctoral. Univ. País Vasco. 251 pag.

UTERMOHL, H.- 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. int. Verein. Theor. angew. Limnol. 9, 1-38.

VACCARO, M.; RYTHER, J.H.- 1960. Marine phytoplankton and the distributions of nitrite in the Sea. J. Cons: Perm. Int. Expl. Mer., 25:260-271.

VARELA, M.- 1982. Composición y distribución del fitoplancton de las rías de Muros, Arosa y plataforma continental. Bol. Inst. Esp. Oceanogr. 7(2):191-222.

YENRICK, L.E.- 1978. Statistical consideratioins. In Phytoplankton manual. Monographs on oceanographic methodology. G. Ed. A. Sournia, pgs. 238-250. UNESCO, París.

YILLATE, F.- 1984. Harpacticoides meiobentónicos (Crustacea. Copepoda) en el plancton de la ría de Mundaka. Cuad. Area Cienc. Mar., Sem. Est. Gallegos, 1, 261-272.

VOLLENWEIDER, R.A.- 1969. Calculations of photosynthesisdepth curves and some implications regarding day rate estimates in primary production measurements, In: C.R. Goldman [ed] Primary productiviy in aquatic environments, p. 425-457. Suppl. Univ. California Press, Berkeley.

VOSJAN, J.H. and R.S. STEZEN.- 1968. Relation between primary production and salinity of algal cultures. Neth. J. Sea. Res. 4:11-20.

WARD, B.B.; R.J. OLSON; M.J. PERRY.- 1982. Microbial nitrification rates in the primary nitrite maximum off southern California. Deep-Sea Res., 29:247-255.

WETHEREL, L.D.F.- 1961. Culture of freshwater algae in enriched natural seawater. Physiol. Plant. 14:1-6.

WILLIAMS, R.B.; MURDOCH, M.G.- 1966. Phytoplankton production and Chloropyll concentration in the Beaufort Channel. Limnol. Oceanorgr. 11:73-82.

WOLFF, W.S.- 1973. The estuary as a habitat Ph.D. Dissertation, Univ. of Leiden: 1-242.

WYATT, T.; QASIM, S.Z.- 1973. Application of a model an estuarine ecosystem. Limnol. Oceanogr., 18, 301-306.