

## Heterogeneidad espaciotemporal del sedimento de los arrozales del delta del Ebro (NE de España).

ELISENDA FORÉS y SONIA GONZÁLEZ

Departament d'Ecologia. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Diagonal, 645. 08028 Barcelona.

Recibido: septiembre 1988.

### SUMMARY

**Time-space heterogeneity in the sediments of the ricefields from the Ebro delta (NE Spain).** Nutrients and other physical and chemical parameters were studied in ricefield sediments of the Ebro Delta in order to describe their changes during the growing period. C, N, P, Ca, Al, Mg, organic matter and water content were analyzed. Also granulometric analysis were performed. A comparison of sediment nutrient contents and particle size in four ricefields was made in order to know which are the differences between ricepaths in the Ebro Delta. The results show that rice growth and denitrification seem to play an important role in the variation of nitrogen concentration with time. In the other hand changes in the physical and chemical characteristics of the inundation water during growing period explained the variation of phosphorus concentration in the last phases of the cultivation period. From the studied parameters, organic matter contents and texture of sediments were the best parameter to explain the differences between ricefields in the Ebro Delta.

**PALABRAS CLAVE:** sedimento, nutrientes, arrozales, heterogeneidad.

**KEYWORDS:** sediment, nutrients, ricefields, heterogeneity.

### INTRODUCCIÓN

En Europa, los campos de arroz se cultivan por inundación. Esta práctica agrícola permite definirlos como ecosistemas acuáticos temporales estivales (DUSSART, 1966). En el Delta del Ebro la profundidad de la columna de agua en los arrozales se mantiene inferior a los 30 cm durante todo el cultivo (FORÉS & COMÍN, 1987a). En ecosistemas acuáticos someros, el sedimento posee una gran importancia como sumidero y fuente de nutrientes. En los arrozales esta característica se acentúa, ya que en ellos se deposita la mitad del nitrógeno y la totalidad del fósforo necesarios para el desarrollo del cultivo del arroz (tabla I).

Después de la cosecha se entierra la paja, parte de la cual se descompone durante el periodo seco (ACHARYA, 1935;

WILLIAMS *et al*, 1968; FORÉS *et al*, 1988).

Existen diversos factores capaces de modificar la concentración de nutrientes en el sedimento. En los arrozales los principales son el crecimiento del arroz, las características físicas del sustrato (contenido en materia orgánica, textura), la distribución espacial de la vegetación y los procesos ocasionados por la inundación del suelo (DEDATTA, 1986). Por otra parte, las condiciones de anoxia presentes en la fase final del cultivo (PONT & VAQUER, 1984; FORÉS & COMÍN, 1987a), pueden favorecer la desnitrificación y redisolución del fósforo ligado a apatitos (GOLTERMAN, 1984), hierro o aluminio (EIDT, 1977).

En este trabajo se presentan los resultados del estudio de las variaciones en el espacio y el tiempo del sedimento de los

TABLA I. Esquema con los principales tratamientos efectuados en los arrozales durante el cultivo. *Scheme showing the treatments made in the ricefields during the crop period.*

fase	características del arrozal	tratamiento agrícola	dosis/jornal (1 jornal = 2190 m <sup>2</sup> )	fecha aproximada
O	arrozal sin inundar	abono de fondo ERT (10% nitritos, amonio y superfosfatos)	100 kg	abril
P+S	arroz con tallo 1º presencia de semilla	Malation + Lindano (contra pequeños crustáceos)	250 ml	mayo
P	desaparición de la semilla	Molinato 5% (contra <i>Echinochloa</i> sp pl)	12 kg	mayo
C	aparición tallos 2º y elongación	alguicidas y abono foliar	5 kg	junio
E	aparición espiga	MCPA (contra <i>Chilo supresalis</i> )	indeterminado	julio
M	maduración	tetraclorvinfos (contra <i>Scirpus</i> sp pl)	1 l	agosto

arrozales del Delta del Ebro. Se analizan algunas de las características fisicoquímicas del sedimento de los arrozales a lo largo del periodo de cultivo y una vez realizada la cosecha. Con ello se pretende comprobar si el crecimiento del arroz, el cambio de condiciones fisicoquímicas del agua de

inundación y la descomposición de la materia orgánica durante el periodo seco provocan alteraciones en las características del sedimento. Por otra parte se aborda el estudio de la variabilidad dentro de un mismo campo a fin de comprobar la existencia de diferencias debidas a la distribución del arroz y resto de vegetación sumergida. Para ello se ha escogido aquella fase del cultivo en que la distribución de la vegetación es más heterogénea. Durante esta misma fase se ha analizado la variabilidad entre campos de distinta localización geográfica en el Delta de l'Ebre. Se discuten algunos de los procesos que pueden ocasionar cambios a lo largo del cultivo, y se buscan cuales son los parámetros fisicoquímicos que mejor discriminan arrozales de la misma zona de cultivo. Este es el primer estudio de la variabilidad en el contenido de nutrientes del sedimento de los arrozales del Delta del Ebro, y forma parte de un programa de investigación más amplio donde se contemplan los arrozales como agroecosistemas.

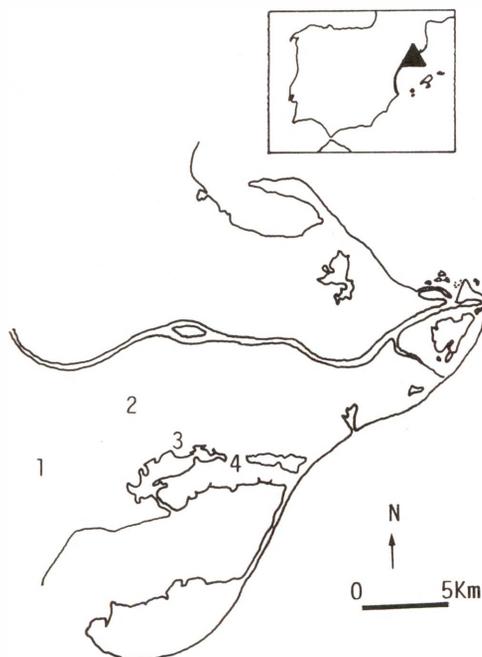


Fig. 1. Mapa del Delta del Ebro con las estaciones de muestreo. *Map of the Ebro Delta showing the location of the studied ricefields.*

## MATERIAL Y MÉTODOS

El sedimento empleado en los análisis se recolectó en cuatro arrozales del Delta del Ebro (fig. 1). El campo 1 está situado sobre

TABLA II. Distribución del tamaño de las partículas expresado como porcentaje del peso seco del sedimento en cada uno de los arrozales estudiados (s=0-5 cm; m=5-10 cm; f= 10 cm de profundidad). *Size particles as percent of total dry weight of sediment from each of the studied ricefields (s=0-5 cm; m=5-10 cm; f=10 cm of depth).*

tamaño de partícula	campo 1			campo 2			campo 3			campo 4
	S	M	F	S	M	F	S	M	F	
arena gruesa	0.7	0.4	1.5	2.7	0.7	0.8	0.8	0.3	0.3	1.4
arena mediana	1.6	1.9	2.6	1.2	4.2	1.0	25.3	32.2	18.0	10.3
arena fina	12.6	12.3	16.1	3.7	12.9	11.0	33.5	17.1	16.7	15.2
limos-arcillas	85.1	85.4	79.8	92.4	82.2	87.2	40.5	50.5	65.1	73.2

arcillas turbosas. Los campos 2 y 3 se hallan situados en la llanura deltaica, así como el campo 4, aunque este último se halla cercano a la línea de costa.

Las muestras se recolectaron con cilindros de plástico rígido, de 2.5 cm de diámetro, introducidos verticalmente en el sedimento entre dos grupos de tallos del arroz. Para el estudio de la variabilidad temporal se recogieron 6 muestras por duplicado en el campo 3, coincidiendo con fases características del crecimiento del arroz (tabla I). En el texto se hace referencia continuada a las fases descritas en la tabla I para explicar algunos cambios en los diversos parámetros. Para el estudio de la variabilidad dentro de un mismo campo se recogieron 7 muestras distribuidas al azar en este mismo arrozal.

Para el estudio de la variabilidad entre campos, se recogieron dos muestras en cada arrozal (fig. 1). El estudio de la variabilidad dentro de un mismo campo y entre campos distintos, se llevó a cabo durante la fase de maduración, cuando la distribución de la vegetación es más heterogénea. En las muestras pertenecientes al estudio de la variabilidad estacional se han diferenciado tres niveles de profundidad: 0-5 cm, 5-10 cm y 10 cm. En el campo 3, esta última fracción pudo dividirse en dos: 10-15 cm y 15 cm, dada la mayor profundidad de los testigos obtenidos. Además, en cada uno de los campos estudiados se recogieron muestras adicionales para realizar el análisis granulométrico y de especies minerales.

Las muestras se conservaron congeladas hasta su procesamiento. La metodología empleada en el análisis granulométrico de

las muestras es la empleada clásicamente en estudios similares (RIVIERE, 1977), previo tratamiento con agua oxigenada (20%) para eliminar la materia orgánica. Una vez secadas y homogeneizadas las muestras, se filtran a través de cedazos de 1, 0.5, 0.25, 0.20, 0.16, 0.125, 0.100, 0.080 y 0.063 mm. Las partículas retenidas en cada filtro se secaron y pesaron con una precisión de 0.0001 g. Los resultados se han expresado como porcentajes del peso seco inicial filtrado. La identificación de fases minerales se ha realizado por difracción de rayos X sobre muestras en polvo. Los diagramas obtenidos se han interpretado y cuantificado de acuerdo con el método de CHUNG (1974a, 1974b, 1975). La determinación del contenido hídrico se realizó inmediatamente después de la extracción, secando las muestras a 70°C hasta peso constante.

Para la determinación del contenido en nutrientes se homogeneizó la muestra previamente secada. Nitrógeno y carbono totales se determinaron con un autoanalizador elemental Carlo Erba Strumentazione (modelo NA 1500) en las condiciones estándar que recomienda el fabricante, en el Servei d'Anàlisi de la Facultat de Biologia. Fósforo, aluminio, hierro, manganeso y calcio se determinaron por fluorescencia de rayos X. Esta técnica se caracteriza por ser no destructiva: no se produce alteración química de la muestra, que debe ser previamente homogeneizada de manera que las partículas no sobrepasen los 6 µm. Para la fabricación de la pastilla se mezclan 5 g del homogeneizado con 2 ml de Elvacite para compactar las partículas. La mezcla resultante se coloca en una cápsula

TABLA III. Minerales identificados en el sedimento de los arrozales 1, 2 y 4 expresados como porcentaje del total de minerales identificados. *Mineral composition of the sediment from the ricefields 1, 2 and 4 as percent of total identified minerals.*

campo	cuarzo	feldespato	calcita	dolomita
1	28.7	4.0	63.7	3.7
2	30.3	4.0	61.7	4.1
4	29.8	4.0	61.4	4.8

de aluminio donde previamente se ha dispuesto una capa de ácido bórico, cuya misión consiste en absorber la radiación de manera que sea analizada únicamente la procedente de la muestra. Se utilizó como fuente de excitación el tubo de rodio, por ser éste el más idóneo para la determinación de los elementos a estudio. Las muestras se confrontaron con una regresión pluri elemental de patrones naturales geológicos con corrección automática de matriz. Los análisis se llevaron a cabo en el Servei d'Espectroscòpia de l'Universitat de Barcelona. La materia orgánica se estimó calcinando la muestra a 400 °C hasta peso constante. Posteriormente, estas muestras se sometieron a 900 °C, lo que ha permitido tener una estima del contenido en carbonatos de las muestras.

## RESULTADOS

### VARIABILIDAD TEMPORAL.

En la tabla II se encuentra la distribución del tamaño de partículas expresado como porcentaje del peso seco del sedimento. En todos los campos y niveles el tamaño de grano más abundante corresponde a la fracción de arcillas y limos, especialmente en los campos 1 y 2. Los porcentajes de arenas medianas varían entre 1.2 y 1.9% (campos 1 y 2), 10.2% (campo 3) y hasta 32.2% en el nivel de 5-10 cm del campo 4. El máximo porcentaje se observa en el campo más cercano a la línea de costa, donde limos y arcillas representan del 40.5 al 65.1% del peso seco. Las arenas gruesas representan un porcentaje poco importante

en todos los campos estudiados (tabla II). La composición mineralógica de los arrozales estudiados se ha representado en la tabla III. No hay diferencias significativas entre los arrozales estudiados, ni tampoco entre niveles de profundidad. Predomina la calcita (62%) y el cuarzo (29.7%). Tampoco hay diferencias significativas en la composición de arcillas, destacando el predominio de las illitas. También se observa la presencia de caolinita.

En la figura 2 pueden observarse los valores del contenido hídrico del sedimento en cada uno de los períodos del cultivo estudiados en el campo 3. Durante la fase P, se observa un contenido hídrico ligeramente superior. Los contenidos mínimos coinciden con las fases finales del cultivo (E y M) y después de la cosecha (Pc).

El contenido en materia orgánica es elevado: entre 4.10 y 5.01% del peso seco durante el cultivo. Se observa un valor inferior después de la cosecha (fig. 2), a pesar de la incorporación de la paja. Puede apreciarse un ligero incremento durante las fases C y E, coincidiendo con la aplicación de herbicidas y reducción de la biomasa radicular del arroz, respectivamente.

Entre los nutrientes, los máximos contenidos en carbono y nitrógeno se observan en la fase E, coincidiendo con los mínimos de fósforo (fig 2). La concentración de carbono varía entre 510 y 534 ug-at C/gps. Los máximos coinciden con los de materia orgánica. Después de la cosecha disminuye hasta 480 ug-at C/gps. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo oscilan entre 16.3-20.4 y 27.7-35.2 ug-at/gps respectivamente. No se observan diferencias significativas en las concentraciones de ambos elementos una vez realizada la cosecha (fig. 2). No hay correlación significativa ( $p < 0.05$ ) entre carbono, nitrógeno y fósforo (tabla IV). La relación C/P varía entre 13.2 y 19.6. La mínima se observa en la fase P y la máxima en la fase E. La relación C/N varía entre 2.3 y 32.6. La máxima relación se observa cuando el arroz experimenta la mayor tasa

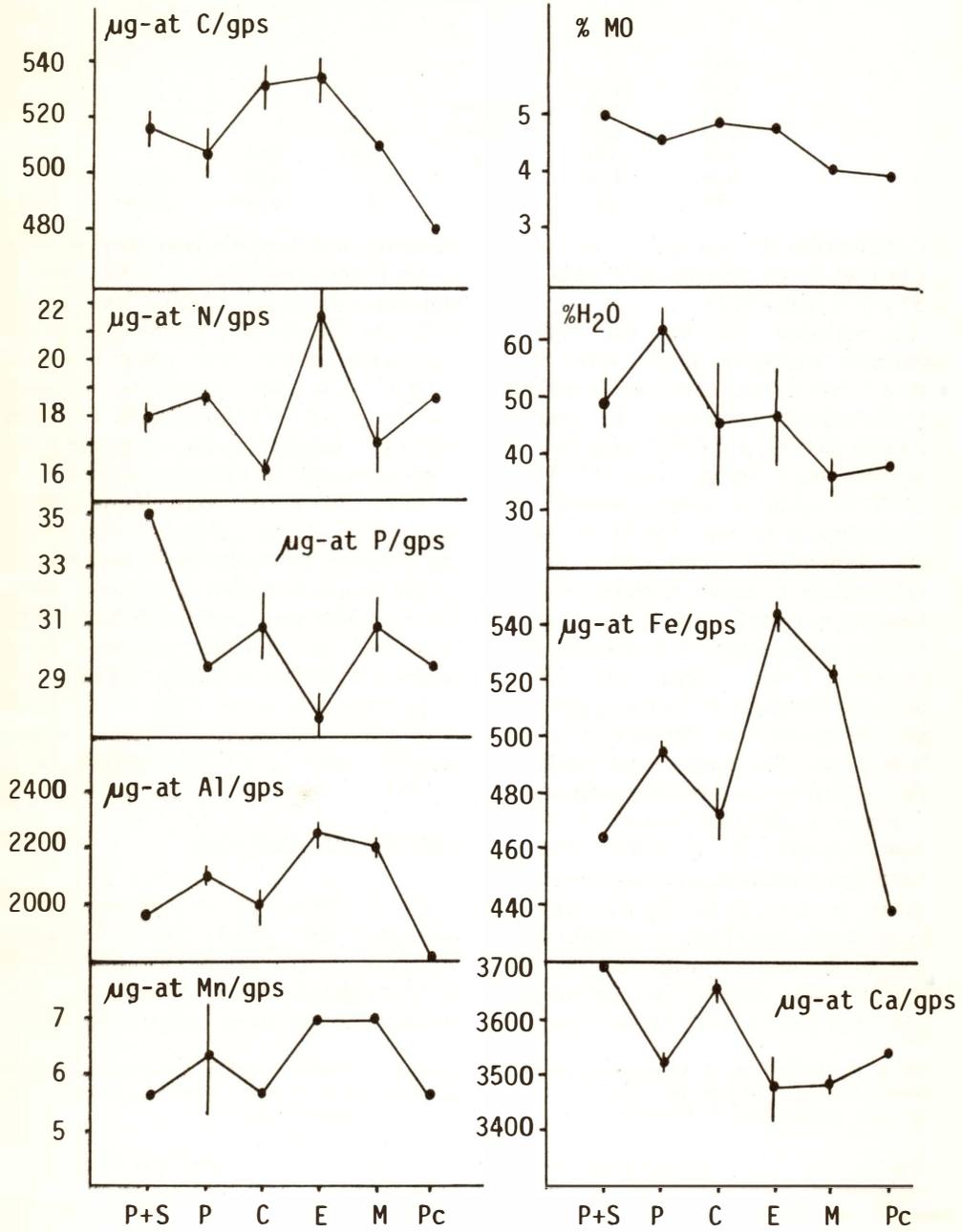


FIG. 2. Variación temporal de los parámetros analizados en el campo 3. Media + error estándar. *Seasonal changes of the studied parameters in ricefield 3. Mean + standard error.*

TABLA IV. Matriz de correlaciones entre los parámetros analizados. Se consideran únicamente los valores obtenidos en el estudio de la variabilidad temporal en el campo 3. (\*\* = p.05). *Correlation matrix occurring within the ricefield 3 using only the results from the study of time variation (\*\* = p.05).*

	C	N	P	Ca	Fe	Al	MO
C	-						
N	0.19	-					
P	0.16	-0.40					
Ca	0.47	-0.52	0.92**				
Fe	0.17	0.52	-0.87**	-0.93**			
Al	0.04	0.58	-0.89**	-0.97**	0.99		
MO	0.54	0.29	0.51	0.62	-0.53	-0.52	-
Mn	-0.07	-0.54	-0.85**	-0.96**	0.98**	0.99**	0.62

de crecimiento (C). La mínima se observa en la fase E. La relación N/P varía entre 0.51 y 0.74 (tabla VIII).

La variación temporal del resto de elementos analizados puede verse en la figura 2. Existe una buena correlación entre las variaciones temporales de hierro y aluminio ( $r=0.99$ ,  $p < 0.001$ , tabla IV). Sus concentraciones varían entre 421-532 y 1977-2260 ug-at/gps respectivamente, con los máximos en las fases E y M. Se observa una disminución importante de la concentración de ambos elementos una vez finalizada la cosecha (fig. 2). Se observan dos fases considerando la concentración de manganeso: una inicial con valores constantes alrededor de 5.6 ug-at /gps y una final con valores más elevados (7.05 ug-at Mn/gps). Las variaciones de este parámetro están positivamente correlacionadas con las de hierro y aluminio ( $r=0.98$  y  $r=0.99$  respectivamente,  $p < 0.001$ ) Con el contenido en calcio presenta una correlación negativa ( $r=-0.99$ ,  $p < 0.001$ ). El calcio es el elemento más abundante en el suelo de los arrozales estudiados, junto con el silicio (FORES, datos inéditos). Su concentración varía entre 3481 y 3702 ug-at Ca/gps. Su

variación en el tiempo es bastante parecida a la del fósforo ( $r=0.92$ ,  $p < 0.001$ ), con el máximo al inicio del cultivo y los mínimos en las fases finales (E y M). Se observa una correlación inversa entre calcio y hierro ( $r=-0.93$ ,  $p < 0.001$ ) y calcio y aluminio ( $r=0.97$ ,  $p < 0.001$ ). En la tabla 4 pueden verse los valores de los coeficientes de correlación entre las variables estudiadas.

En la tabla pueden verse los resultados del análisis de la varianza considerando como fuente de variación el período del cultivo en que se realizó el muestreo. No se observan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en las siguientes variables: carbono, materia orgánica y contenido hídrico, mientras que sí se presentan en el resto de variables analizadas: nitrógeno, fósforo, hierro, aluminio, calcio ( $p < 0.01$ ) y manganeso ( $p < 0.05$ ).

#### VARIABILIDAD ESPACIAL

En la tabla VI se encuentran los resultados del análisis de la varianza utilizando como fuente de variación el nivel de profundidad de las distintas muestras obtenidas al azar en el campo 3 durante la

TABLA V. Análisis de la varianza de un factor: campaña de muestreo en el campo 3. *ANOVA with one factor: time of sampling in the ricefield 3.*

parámetros no significativos ( $p < 0.05$ )	parámetros significativos	
	( $p < 0.05$ )	( $p < 0.01$ )
MO	Mn	N
C		P
contenido en agua		Fe
carbonatos		Al
		Ca

TABLA VI. Análisis de la varianza de un factor: nivel de profundidad en el campo 3. *ANOVA with one factor: level of depth in the ricefield 3.*

parámetros no significativos ( $p < 0.05$ )	parámetros significativos	
	( $p < 0.05$ )	( $p < 0.01$ )
calcio	manganeso	carbono
aluminio	fósforo	nitrógeno
hierro		MO
carbonatos		
contenido en agua		

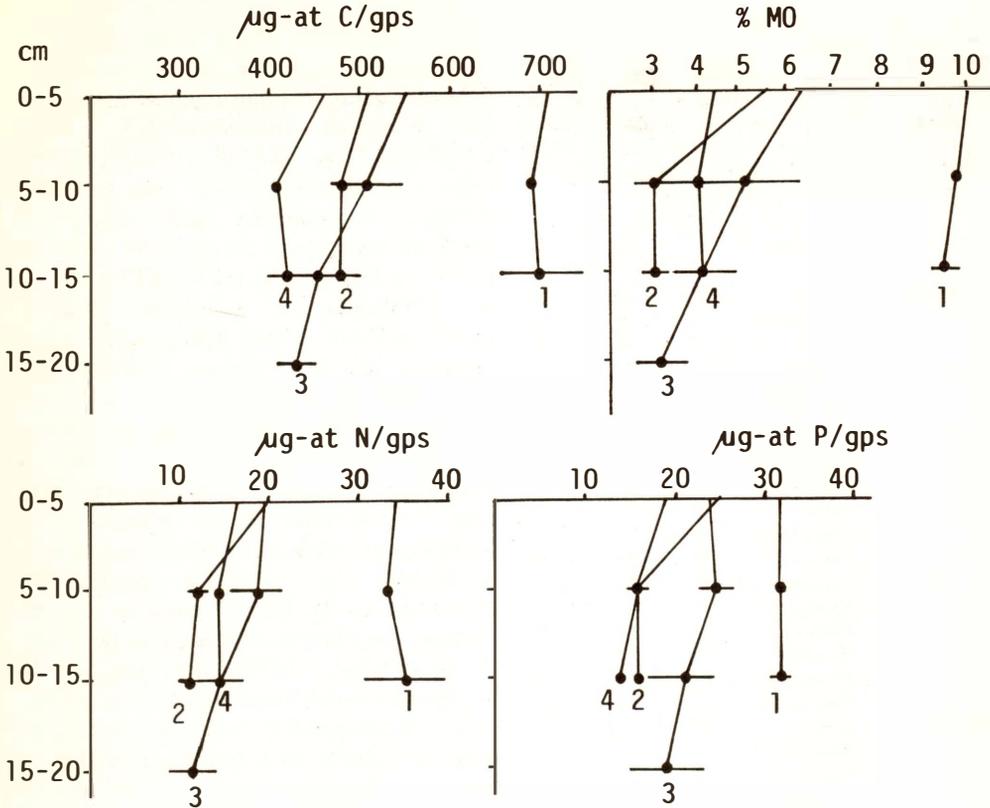


FIG.. 3. Contenido en C, N, P y materia orgánica de cada nivel de profundidad en los arrozales estudiados. 1= campo 1; 2=campo 2; 3 = campo 3. 4 = campo 4. Media + error estándar. C, N, P and organic matter contents at different levels of the studied ricefields. Mean + standard error.

fase M. Se observan diferencias significativas de los siguientes parámetros: manganeso, fósforo ( $p < 0.05$ ), carbono, nitrógeno y materia orgánica. Se observa pues un incremento de manganeso y nitrógeno al aumentar la profundidad, mientras que el fósforo, carbono y materia orgánica disminuyen (fig. 3). Con aquellas variables que no varían su concentración significativamente al aumentar la profundidad, se ha llevado a cabo un análisis de la varianza empleando como fuente de variación el punto de muestreo. No se observan diferencias significativas en ninguna de las variables analizadas ( $p < 0.05$ ).

En la tabla VII pueden verse los resultados de los análisis de la varianza

utilizando como fuente de variación el campo estudiado, aplicados a cada uno de los tres niveles de profundidad analizados. En cada uno de ellos se observan diferencias significativas entre los cuatro arrozales estudiados. Repitiendo el análisis sin el campo 4, el más cercano a la línea de costa, pueden observarse diferencias significativas de aluminio, nitrógeno y fósforo entre los campos analizados en superficie (tabla VII). En las profundidades media e inferior (5-10 cm y 10 cm, respectivamente), las diferencias se dan en todos los parámetros analizados. Excluyendo del análisis el campo 1, situado sobre arcillas turbosas, no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) de contenido en manganeso, carbono y materia orgánica entre los campos 2 y 3 (tabla VII).

TABLA VII. Análisis de la varianza de un factor: campos distintos aplicado a cada uno de los niveles de profundidad estudiados. 1=todos los campos; 2=campos 1, 2 y 3; 3=campos 2 y 3. (\*\*=p.01; \*=p.05; ns= no significativo). ANOVA with one factor: Different ricefields applied to each of levels of depth. 1= all the ricefields; 2=ricefields 1, 2 and 3; 3=ricefields 2 and 3. (\*\*=p.01; \*=p.05; ns= not significative).

Nivel	Parámetro	1	2	3
Superficie	Hierro	**	ns	ns
	Manganeso	*	ns	ns
	Calcio	**	ns	ns
	Aluminio	**	**	*
	Nitrógeno	**	*	ns
	Fósforo	*	**	ns
	Carbono	**	**	ns
	M. orgánica	*	*	ns
	Carbonatos	ns	ns	ns
	Medio	Hierro	**	*
Manganeso		**	*	ns
Calcio		**	**	**
Aluminio		**	**	*
Nitrógeno		*	*	*
Fósforo		**	**	**
Carbono		**	**	ns
M. orgánica		**	**	ns
Carbonatos		ns	ns	ns
Fondo		Hierro	**	**
	Manganeso	**	**	ns
	Calcio	**	**	**
	Aluminio	**	**	**
	Nitrógeno	**	**	ns
	Fósforo	**	**	**
	Carbono	**	**	ns
	M. orgánica	**	**	ns

No hay diferencias significativas de contenido en carbonatos entre campos.

## DISCUSIÓN

De los resultados presentados podemos establecer dos grupos de parámetros: nitrógeno, fósforo, aluminio, hierro, calcio y manganeso, cuya concentración varía a lo largo del cultivo, y carbono, contenido hídrico y materia orgánica, que no varían. Durante la fase de crecimiento vegetativo el arroz asimila del 70 al 80% de su contenido en nitrógeno (MURAYAMA, 1979; KOYAMA, 1981). La mayor parte (60%) proviene de la mineralización del nitrógeno orgánico presente en el sedimento

(KOYAMA, 1981). El abono de fondo, gran parte del cual desaparece del sistema por desnitrificación, estimula que se aproveche este nitrógeno (BROADBENT, 1979). CRASWELL & VLECK (1979) obtienen valores de desnitrificación del 63% del nitrógeno incorporado como abono en Filipinas, parecidos a los de YAMAGUCHI (1979) en Japón: 60%, o DEDATTA (1986) en California y Luisiana: 37-68%. GOLTERMAN (1984) indica que en los arrozales de la Camarga el nitrógeno procedente del abonado desaparece a los pocos días de la inundación de los campos, incorporándose únicamente el 10% al sedimento por la vía bacteriana. Ello explicaría la falta de un máximo de nitrógeno al inicio del cultivo en nuestros resultados (fig. 2). La disminución observada en la fase C coincide con la máxima asimilación de nitrógeno del arroz (MURAYAMA, 1979), que provoca la incorporación del abono foliar (urea, sulfato amónico) al arrozal (tabla I). Se observa un mayor contenido en la fase E, coincidiendo con la descomposición del excedente radicular (FORES & COMIN, en prensa). Según GREGORY *et al.* (1979), este fenómeno, común en gramíneas, puede justificarse por la descomposición del excedente radicular una vez formada la espiga. Las condiciones de anoxia presentes en el agua de inundación del arrozal en las fases finales del cultivo (ANTONIETTI *et al.*, 1987; FORES & COMIN, 1987a, 1987b) favorecen la desnitrificación. Esto justificaría la disminución de la concentración observada en la fase M (fig. 2). La incorporación de la paja al finalizar la cosecha y su rápida descomposición (FORES *et al.*, 1988) contribuyen al incremento observado en la fase Pc. El sedimento posee una relación C/N superior a 20, valor a partir del cual disminuye la descomposición de la materia orgánica (SMITH, 1979), lo cual explicaría la falta de diferencias significativas en su contenido durante el cultivo. De esta forma, la materia orgánica procedente de la columna de agua

Tabla VIII. Cálculo del tanto por ciento de nitrógeno desnitrificado de la columna de agua a partir del nitrógeno y fósforo retenidos por el arrozal en cada fase del cultivo y la relación N/P en el sedimento. *Percentage of denitrified nitrogen from the water calculated from nitrogen and phosphorus retained in the ricefield and N/P relation in the sediment for each cultivation period.*

Fase	N/P	N tot. ret. (g/ha)	P tot. ret. (g/ha)	N precip. (g/ha)	N desnitr. (g/ha)	% desnitr.
P	0.51	657.4	18.9	9.6	647.8	98.5
P+S	0.64	538.4	208.8	133.6	404.8	75.2
C	0.13	304.8	20.4	10.8	295.0	96.8
E	0.74	1261.6	46.2	34.2	1227.4	97.3

se descompondría rápidamente, convirtiéndose en fuente de nitrógeno para el arroz durante su crecimiento vegetativo sin acumularse en el sedimento. Asumiendo que todo el fósforo del agua de irrigación retenido por el sistema sedimenta, o sea:

$$P \text{ retenido} = P \text{ entrante} - (P \text{ saliente} + \text{incremento de concentración en la columna de agua}),$$

y usando la relación N/P del sedimento en cada fase del cultivo, puede estimarse una desnitrificación del 75.2 al 98.5% del nitrógeno retenido (tabla VIII). Podemos pues deducir que los aportes de nitrógeno disuelto de los canales de irrigación al sedimento son relativamente poco importantes.

La concentración de fósforo en el sedimento de los arrozales está determinada por procesos físicos y químicos de la columna de agua (pH-Eh, sedimentación de detritos de la columna de agua) y biológicos (mineralización de la materia orgánica, asimilación del arroz). A la vista de nuestros resultados, los procesos biológicos no parecen desempeñar directamente un papel importante en la regulación del fósforo del sedimento. La materia orgánica procedente de la descomposición de la paja incorporada al finalizar la cosecha posee un escaso contenido en fósforo al iniciarse el cultivo de nuevo (FORES *et al.*, 1988) y la que sedimenta de la columna de agua posee fósforo en sus fracciones más refractarias (SCHINDLER, 1981). Únicamente la disminución observada durante la fase P puede justificarse con la tasa máxima de

asimilación de nutrientes en este período (FORES & COMIN, en prensa). Podemos pensar que una gran cantidad de fósforo del sedimento está en formas no asimilables. Según EIDT (1977) los aniones orgánicos pueden desplazar el fósforo de los complejos Fe-P. De esta forma la estregnita suministra fósforo al arroz. No obstante, el elevado contenido en calcio hace pensar que éste es el elemento que puede regular la concentración de fósforo en nuestros arrozales. Esta observación puede corroborarse con el elevado coeficiente de correlación que muestran las variaciones de calcio y fósforo a lo largo del cultivo. Durante las fases iniciales, cuando el pH del agua de inundación es elevado (cercano a 9) favorecido por el predominio de los procesos de fotosíntesis (FORES & COMIN, 1987b), el fósforo puede coprecipitar con carbonatos formando apatitos (GOLTERMAN, 1984). Sólo una fracción de este fósforo adsorbido es incorporado a las estructuras cristalinas (HOUSE & DONALDSON, 1986). Así, durante la fase final del cultivo, cuando las condiciones son reductoras, puede producirse solubilización del fósforo precipitado. El máximo inicial puede atribuirse al abono de fondo.

Se observa un aumento en la concentración de hierro durante las fases finales del cultivo. En estas fases, las condiciones de anoxia favorecen la solubilización de hierro y manganeso (STUMM & MORGAN, 1981). También favorecen la reducción de sulfatos, una vez agotados los nitratos como aceptores finales de electrones (VALIELA, 1984). Los

sulfuros procedentes de este proceso pueden precipitar con el hierro, lo cual explicaría el incremento observado en esta fase. MOORMANN & BREEMEN (1978) señalan que este mecanismo es importante para prevenir la toxicidad debida a sulfuros. Cabe señalar que se observa una disminución en la concentración de sulfatos entre los canales de entrada y salida de agua de los arrozales durante este período.

No se observan diferencias significativas entre muestras pertenecientes a un mismo campo, a pesar de escogerse la fase del cultivo en que la heterogeneidad es aparentemente mayor. Este resultado nos permite extrapolar los resultados obtenidos con pocas muestras, a la totalidad del campo estudiado.

A pesar de no observarse diferencias significativas en la composición mineralógica de los distintos arrozales analizados, se observa un mayor contenido en arenas en el campo más cercano a la línea de costa. De los análisis de la varianza realizados, podemos deducir que este arrozal se diferencia claramente del resto de los campos estudiados por su menor contenido en materia orgánica y nutrientes. Lo contrario puede decirse del campo 1, que posee un contenido en nutrientes (nitrógeno fósforo y carbono) y materia orgánica significativamente superiores a los del resto de arrozales. Este arrozal posee un contenido en partículas entre 63 y 250  $\mu$ m superior al del resto de arrozales, a excepción del campo 4. El campo 2 posee una concentración de nutrientes y materia orgánica significativamente igual a la del campo 3, a pesar de poseer una concentración de nitrógeno y fósforo

inferior en el nivel intermedio analizado. Podemos pues deducir la presencia de tres tipos de arrozales que se diferenciarían por sus características granulométricas y su contenido en materia orgánica, siendo estas dos variables las que mejor diferencian los arrozales del Delta del Ebro. La falta de diferencias en la composición mineralógica hace pensar que las diferencias observadas son el resultado de aplicar las mismas prácticas agrícolas a zonas geológicamente diferenciadas (arenosas, arcillosas o turbosas) en la misma llanura deltaica. Por su parte el crecimiento del arroz, directa o indirectamente, es el responsable de la variabilidad temporal observada en el sedimento.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. F. A. Comín las sugerencias durante la elaboración de este trabajo, así como la revisión final del manuscrito. Especialmente a la Dra. M. Baucells, M. Roura y G. Lacort y miembros del Servei d'Espectroscòpia de l'Universitat de Barcelona y I. Casals del Servei d'Anàlisi de la Facultat de Biologia, las facilidades ofrecidas para la realización de los análisis químicos. También agradecemos al Sr. Beltri la cesión del arrozal utilizado para el estudio de la variabilidad espaciotemporal. Uno de los autores (E.F.) ha disfrutado de una beca de formación de personal investigador del M.E.C. durante el período de elaboración de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACHARYA, C. N. 1935. Studies on the anaerobic decomposition of plant materials III. Comparison of the course of rice straw under anaerobic, aerobic and partially aerobic conditions. *Bioch. J.*, 29: 1116-1120.
- ANTONIETTI, R. P., P. VIAROLI & ANTONIETTI, F. 1987. Changes in the physical and chemical properties of floodwater and sediment in an experimental ricefield (Reggio Emilia, Italy). *Hydrobiologia*, 144: 83-88.
- BROADBENT, F. E. 1979. Mineralization of organic nitrogen in paddy soils. In: *Nitrogen and Rice*: 105-118. N. C. Brady Ed. IRRI Philippines. 499pp.

- CHUNG, F. H. 1974a. Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. I: matrix-flushing method for quantitative multicomponents analysis. *Jour. Appl. Crystal.*, 7: 519-525.
- CHUNG, F. H. 1974b. Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures II: Adiabatic principle of X-ray diffraction analysis of mixtures. *Jour. Appl. Crystal.*, 7:526-531.
- CHUNG, F. H. 1975. Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures III: Simultaneous determination of a set of reference intensities. *Jour. Appl. Crystal.*, 8: 17-19.
- CRASWELL, E. T. & VLECK, P. L. G. 1979. Fate of fertilizer nitrogen applied to wetland rice.. In: *Nitrogen and Rice.*: 175-192 N. C. Brady Ed. IRRI. Philippines. 499pp.
- DEDATTA, S. K. 1986. *Producción del arroz. Fundamentos y prácticas.* Limusa. México. 690pp.
- DUSSART, B. 1966. *Limnologie. L'étude des eaux continentales.* Gauthier-Villars. Paris. 677pp.
- EIDT, R. C. 1977. Detection and examination of anthrosols by phosphate analysis. *Science*, 197: 1327-1333.
- FORES, E. & COMIN, F. A. 1987a. Chemical characteristics of the water in the ricefields of the Ebro Delta (N.E Spain) *Arch. Hydrobiol.*, 111(1):15-24.
- FORES, E. & COMIN, F. A. 1987b. Características limnológicas de los arrozales del Delta del Ebro (N.E. España). *Oecol. aquat.*, 8:33-45.
- FORES, E. & COMIN, F. A. (en prensa). Contenido en carbono, nitrógeno y fósforo del arroz en distintos estadios de crecimiento. *Rev. Agroquim. Tec. Alim.*
- FORES, E, MENENDEZ, M. & COMIN, F. A. 1988. Rice straw decomposition in ricefield soil. *Plant & Soil.*, 109:145-146.
- GOLTERMAN, H. L. 1984. Sediment modifying and equilibrating factors in the chemistry of freshwater. *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, 22: 23-59.
- GREGORY, P. J. ; CRANDFORD, D. V. & MACGOWAN, M. 1979. Nutrient relations of winter wheat. I: Accumulation and distribution of Na, K, Ca, Mg, P, S and N. *J. Agric. Sci. Camb.*, 93:485-494.
- HOUSE, W. A. & DONALDSON, L. 1986. Adsorption and coprecipitation of phosphate on calcite. *J. Coll. Inter. Sci.*, 112(2): 309-323.
- KOYAMA, T. 1981. Nitrogen cycling in South-East Asian Wet Moonsoonal Ecosystem.: 67-70. In: *Proceedings of a regional workshop. SCOPE/UNED.* Thailand.
- MOORMAN, F. R. & BREEMEN, N. 1978. *Rice: Soil, water, land.* IRRI. Philippines. 185pp.
- MURAYAMA, N. 1979. The importance of nitrogen for rice production: 5-24. In: *Nitrogen and Rice.* N. C. Brady Ed. IRRI. Philippines. 499 pp.
- PONT, D. & VAQUER, A. 1984. Quelques caractéristiques physico-chimiques de l'eau de submersion des rizières de Camargue (France): rôle de la vegetation immergée et émergée. *Ecol. Mediterr.*, 10:133-166.
- RIVIERE, A. 1977. *Méthodes granulométriques: techniques et interpretation.* Masson. Paris.
- SCHINDLER, R. 1981. Interrelationship between the cycles of elements in freshwater ecosystems. In: *Some Perspectives of the Major Biogeochemical Cycles.* G.E. Likens Ed. SCOPE.
- SMITH, O. L. 1979. Application of a model of the decomposition of soil organic matter. *Soil. Biol. Biochem.*, 11:607-618.
- STUMM, V. & MORGAN, J. J. 1981. *Aquatic Chemistry.* 2nd. Ed. Wiley & Sons. New York. 780pp.
- VALIELA, I. 1984. *Marine Ecological Processes.* Springer-Verlag. New York. 547pp.
- WILLIAMS, W. A., MIKKELSEN, D. S., MUELLER, K. E. & RUCKMAN, J. E. 1968. Nitrogen immobilization by rice straw incorporated in lowland rice production. *Plant & Soil*, 28(1): 49-60.
- YAMAGUCHI, M. 1979. Biological nitrogen fixation in flooded ricefields; 193-206. In: *Nitrogen and Rice.* N. C. Brady Ed. IRRI. Phillipines. 499 pp.