

INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE DIVERSAS ESPECIES DE ALGAS SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO ÁCIDO Y EL CRECIMIENTO DE *HORDEUM VULGARE* L.

M J MONTERO VILARIÑO, P MARCET MIRAMONTES, M L ANDRADE COUCE, J ESTEVEZ SIO

Departamento Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Facultad de Ciencias. Universidad de Vigo. Apartado 874. Vigo. España.

EFFECT OF VARIOUS ALGAL SPECIES ON SOME CHEMICAL PROPERTIES OF AN ACID SOIL AND *Hordeum vulgare* L. PRODUCTION

The effect of twelve algal species on some soil properties and *Hordeum vulgare* L. production was studied. Results showed that almost all species had nitrogen contents higher than 1%, and high P, Ca, Mg, K, and Na concentrations. *Ulva rígida* Agardh was the specie with the highest Mn and Zn concentration and *Desmarestia aculeata* (Lightfoot) Lamour of Fe. Acidity and exchangeable Al decreased after seaweed addition. Most of the studied species, and specially *Gymnogongrus norvegicus* (Gunner) Agardh, increased the contents of exchangeable cations and the effective cationic exchange capacity, as well as the contents of available Fe, Mn, and Zn. Barley dry weight production after soil treatment with all algal species was higher than in the control.

Key words: Manure, seaweed, Fertility, Soil, Heavy metals.

INTRODUCCION

La adición de algas a un suelo agrícola aporta diferentes beneficios a los cultivos abonados con ellas, tales como aumento de la producción, mejor germinación de las semillas y la calidad de almacenamiento del fruto (Aitken *et al.* 1965; Button, Noyes 1964), la resistencia de la planta a las heladas (Senn *et al.* 1961) al ataque de hongos e insectos (Stephenson 1966), así como la absorción de nutrientes.

Las algas aportan al suelo iguales cantidades de N, mas K y menos P que el estiércol de granja. Son pues adecuadas para los suelos pobres en K, o para cultivos exigentes en este nutriente, tales como las *Solanum tuberosum* L. o *Tripholium pratense* L. y los resultados mejoran si se suplementa con fertilización fosforada (Arévalo 1965, Jensen *et al.* 1968, González *et al.* 1982, Francki 1960 y 1964, Myklestad 1963, Zunino *et al.* 1971). Este tipo de abonado es utilizado tradicionalmente por agricultores de diversas zonas costeras. A su vez es un procedimiento adecuado para la eliminación de las enormes cantidades de algas arrojadas por las mareas.

En diversos lugares del noroeste de España las algas marinas son utilizadas como fertilizante para las papas (López, Pazos

1997). En el Norte de Alaska, el alga *Alaria fistulosa* se emplea regularmente como abono para patatas sin secado alguno, obteniéndose resultados muy satisfactorios.

No son muchos los trabajos realizados acerca del poder fertilizante de especies aisladas de algas y la mayoría de ellos analizan un aspecto muy concreto de sus efectos, como su acción inhibidora o potenciadora del crecimiento de las plantas (Francki 1960, Myklestad 1963, Hammel *et al.* 1998) la asimilación de determinado nutriente por el cultivo (Zunino *et al.* 1971), el análisis de ciertas especies para evaluar su contenido en algunos elementos y proponer su posible utilización como abono (Gero, Varlet 1959, Arévalo 1965, Real Hardisson 1987) o utilizar como enmienda fertilizante, compost o diversos subproductos de determinadas especies (Hansen *et al.* 1987, Goatley, Schmidt 1990, Morand *et al.* 1990, Warman, Munro-Warman 1993, Yvin 1994). Por todo ello se considera de interés contribuir a completar la escasa información existente en este campo de la investigación sobre el aprovechamiento de las algas.

El objetivo fundamental de este trabajo fue valorar el poder fertilizante de cada una de las especies aisladas de algas que son

componentes de las mezclas habitualmente utilizadas por los agricultores.

MATERIALES Y METODOS

Como único material fertilizante, se utilizaron doce especies de algas marinas, recogidas en la zona suroccidental de la provincia de Pontevedra (España), tal y como son arrojadas a la costa por las mareas. Son las especies que aparecen más frecuentemente, y con mayor abundancia, en todas las estaciones del año y se ha procurado que coincidan con las utilizadas por los agricultores. Estas especies son: *Halidrys siliquosa* (L.) Lyngb., *Sacchorriza polyschides* (Lightfoot) Batters, *Desmarestia aculeata* (Lightfoot) Lamour; *Chondrus crispus* (L.) Lyngb., *Gymnogongrus norvegicus* (Gunner) Agardh, *Gelidium sesquipedale* (Turner) Thur., *Enteromorpha ramulosa* (Smith) Hook, *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link., *Himantalia elongata* (L.) S. F. Gray, *Ulva rígida* Agardh, *Ulva lactuca* L., *Codium* sp., que se representarán como H.S., S.P., D.A., C.G., G.N., G.S., E.R., E.I., H.E., U.R., U.L., y C respectivamente.

Para la experiencia se utilizó el horizonte A de un Cambisol Húmico de textura francoarenosa desarrollado sobre granito de dos micas (moscovita y biotita) y que no sufrió ningún tipo de abonado en los últimos diez años, en los que se dedicó a barbecho. (pH = 5,20; M O = 5,65 %; N = 0,37 %; C/N = 8,86; P = 9mg kg⁻¹; CEC = 8,97cmol c kg⁻¹).

El ensayo se realizó en macetas de 18,5 cm de diámetro y 17 cm de altura, en las que se introdujeron 2 kg de suelo, tamizado por 2 mm. Cada maceta fue abonada con una especie de alga, la cual se añadió al suelo en fresco y triturada, en una cantidad calculada teniendo en cuenta el contenido de humedad de cada especie (dosis equivalente a 15t.ha⁻¹).

Después de la adición, se dejó incorporar al suelo durante treinta días realizando entonces el primer muestreo (Efecto Directo). Al cabo de ese tiempo se cubrió la maceta con 200 g de arena de cuarzo lavada con ácido y, sobre esta capa, se sembró cebada (*Hordeum vulgare* L.), variedad Atlas a razón de 100 semillas por maceta; dejando desarrollar el cultivo durante noventa días, después de los cuales se recogió y se tomó otra muestra de suelo (Efecto Residual). Todas las experiencias se realizaron por triplicado y se utilizó como referencia un suelo que no recibió fertilización alguna (Control).

En suelo se utilizaron los métodos de Guitián Ojea y Carballas (1976) para la determinación de pH en H₂O y en ClK, nitrógeno y materia orgánica (M O). El fósforo asimilable se extra-

jo por el procedimiento de Olsen *et al.* (1954), y se determinó según el método de Murphy y Riley (1962), modificado por Alexander y Robertson (1968).

Ca, Mg, K, Na, S y Al intercambiables se extrajeron por el método descrito por Mehlich (1978) y los elementos metálicos asimilables Co, Cu, Fe, Mn y Zn por el procedimiento de Lakanen y Ervio (1971). La determinación de todos ellos se llevó a cabo por espectrofotometría de absorción atómica.

Las determinaciones efectuadas a cada una de las especies de algas y al cultivo se realizaron sobre muestra seca y pulverizada. Se determinaron M O y N utilizando la misma metodología que para los suelos, y la salinidad según Cobertera (1993). La extracción de los elementos metálicos se realizó por calcinación a 400°C, disolución con ClH y su determinación por espectrofotometría de absorción atómica.

Para evaluar la existencia o no de diferencias significativas, todos los datos se sometieron a un análisis estadístico mediante el programa informático SPSS, realizándose análisis de varianza y el test de comparaciones múltiples de medias en aquellos casos donde aparecieron diferencias significativas (al nivel del 5%) entre los valores hallados para cada variable.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de las especies de algas.

La Tabla 1 muestra los resultados de los análisis efectuados a las diferentes especies de algas utilizadas. La mayoría de ellas superó el 50% en peso seco de materia orgánica, sin embargo *Ulva lactuca* (L.) y *Sacchorriza polyschides* (Lightfoot) Batters, poseen una cantidad relativamente baja que no alcanza el 30%. Estos resultados son muy similares a los encontrados por investigadores como Chapman y Chapman (1980) para diferentes especies de distintos países.

Los niveles de nitrógeno no fueron muy altos, aunque superaron el 1% en peso seco con excepción de *Desmarestia aculeata* (Lightfoot) Lamour. Algas, como *Ulva rígida*, Agardh, *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link y *Chondrus crispus* (L.) Lyngb sobrepasaron el 2%. Los resultados coinciden con los aportados por diversos autores para distintas especies (Arévalo, 1965; Chapman y Chapman 1980; Real Hardisson 1987).

Los contenidos de P, Ca, Mg, K, Na y Al de todas las especies estudiadas fueron

relativamente altos y coincidentes con los presentados por la bibliografía (Jensen *et al.* 1968, Chapman y Chapman 1980, Real Hardisson 1987), lo que resulta importante, particularmente desde la perspectiva del poder fertilizante de K y P.

Los contenidos relativamente elevados de Ca están dentro del intervalo mencionado por Gayral (1966) para diversas especies; siendo éste uno de los factores que han llevado a este autor a recomendar el uso de algas como acondicionador de suelos ácidos.

Se realizó un análisis completo del contenido de metales pesados y solamente se detectó la presencia de Co, Cu, Mn, Fe y Zn. El contenido de los tres primeros fue bajo en todas las especies y ligeramente superior el de Fe y Zn. Cabe señalar que *Ulva rígida*

Agardh fue la especie que presentó la mayor concentración de Mn y Zn, con diferencias muy significativas respecto a la mayoría de las restantes. Sin embargo las cantidades que se aportarán al suelo con ésta y las restantes especies son bajas y no generan problemas por posible contaminación.

El Zn fue el elemento metálico más concentrado en el tejido de las algas. *Ulva rígida* Agardh, *Ulva lactuca* L. y *Gymnogongrus norvegicus* (Gunner) Agardh, presentaron las mayores concentraciones, mientras que *Enteromorpha ramulosa* (Smith) Hook., *Desmarestia aculeata* (Lightfoot) Lamour., *Himanthalia elongata* (L.) S.F. Gray, y *Enteromorpha intestinales* (L.) Link., con valores en torno a 200 mg/kg., presentaron las menores.

Tabla 2. Contenido de sales del suelo tratado con distintas especies de algas.

Table 2. Salt content of a soil treated with different seaweed species.

Especie	Contenido de sales	
	Efecto Directo	Efecto Residual
	‰	
H.S.	0,08ab	0,06ab
S.P.	0,08ab	0,06ab
D.A.	0,07ab	0,05ab
C.C.	0,07ab	0,05ab
G.N.	0,08ab	0,05ab
G.S.	0,06a	0,03a
E.R.	0,08ab	0,05ab
E.I.	0,06a	0,04a
H.E.	0,05a	0,03a
C.	0,12b	0,09b
U.R.	0,08ab	0,06ab
U.L.	0,08ab	0,06ab
Control	0,05a	0,04a

En cada columna, los valores medios seguidos por la misma letra o letras no son significativamente diferentes al nivel 0,05 de probabilidad.

Tabla 3. Valores de pH del suelo tratado con distintas especies de algas.

Table 3. pH of the soil treated with different seaweed species.

Especie	pH _{H2O}		pH _{CaCl2}	
	Efecto Directo	Efecto Residual	Efecto Directo	Efecto Residual
H.S.	5,68b	4,80ab	5,31b	4,34ab
S.P.	5,70b	4,86ab	5,30b	4,38ab
D.A.	5,90c	4,95b	5,52c	4,26a
C.C.	5,90c	5,22bc	5,50c	4,35ab
G.N.	5,76bc	4,84ab	5,34bc	4,30ab
G.S.	5,80bc	4,86ab	5,41bc	4,43b
E.R.	5,68b	4,70ab	5,24b	4,33ab
E.I.	5,50ab	4,70ab	5,20ab	4,38ab
H.E.	5,56ab	4,74ab	5,18ab	4,34ab
C.	5,68b	4,78ab	5,26b	4,25a
U.R.	5,70b	5,00b	5,30b	4,38ab
U.L.	5,40ab	4,94b	5,00ab	4,39ab
Control	5,20a	4,40a	4,80a	4,17a

En cada columna los valores medios seguidos por la misma letra o letras no son significativos al nivel 0,05 de probabilidad

Efectos del agregado de las algas al suelo.

En la Tabla 2 se reflejan los Efectos Directo y Efecto Residual que el aporte de cada una de las especies de algas causan en la salinidad del suelo.

Se aprecia un Efecto Residual prácticamente nulo y muy escaso Efecto Directo sobre el contenido de sales en la disolución del suelo. Solamente *Codium* sp. lo aumenta, inmediatamente después de su incorporación, efecto que se mantiene aún después de recogido el cultivo. De todos modos, debe señalarse que la cantidad de sales, con cualquiera de los tratamientos, fue inferior a valores que pudieran considerarse indicativos de suelos salinos, ya que no se alcanza siquiera el nivel de 1 por mil, límite hasta el cual los suelos se clasifican como normales (Porta Casanellas et al. 1994).

El Efecto Directo del aporte de las diferentes especies sobre el pH del suelo (Tabla 3) muestra que todas ellas causan una ligera disminución de la acidez, destacando *Desmarestia aculeata* (Lightfoot) Lamour. y *Chondrus crispus* (L.) Lingb. Además, el suelo con los diferentes tratamientos tiene un me-

nor contenido de Al intercambiable (Tabla 5), lo cual es una confirmación de la reducción de la acidez potencial debida a las formas activas de Al. El pH residual fue mayor en el suelo tratado con todas las especies que en el control. Esto fue acompañado, en general, por la disminución del Al de cambio (Tabla 5), lo cual contribuyó a mejorar las condiciones para el desarrollo de un nuevo cultivo. Aún después de recogida la cosecha y, teniendo en cuenta que los procesos que tienen lugar durante la germinación y crecimiento de la cebada son acidificantes, el suelo tratado con cada una de las especies tuvo un nivel de pH similar o superior al del control.

También la adición de estas especies se tradujo en un incremento en los contenidos de M O, N y P asimilable del suelo, inmediatamente después de la incorporación de las mismas (Tabla 4). Las diferencias fueron, en general, muy significativas entre el control y el suelo tratado y también entre los tratamientos diferentes.

El agregado de *Enteromorpha ramulosa* (Smith) Hook. *Halidrys siliquosa* (L.) Lyngb., y *Gymnogongrus norvegicus*

Tabla 4. Características químicas de un suelo tratado con distintas especies de algas.
Table 4.- Chemical characteristics of the soil treated with different seaweed species.

Especie	C		M O		N		P		b	
	EU DM ²									
Control	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
H 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3 3'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4 4'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5 5'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6 6'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7 7'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8 8'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9 9'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10 10'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11 11'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12 12'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13 13'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14 14'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15 15'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16 16'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17 17'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18 18'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19 19'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20 20'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

En cada columna los valores medios seguidos por la misma letra o letras no son significativos al nivel 0,05 de probabilidad

(Gunner) Agardh. produjo el mayor incremento de materia orgánica en el primer muestreo, mientras que el agregado de *Ulva lactuca* L. y *Sacchorrizapolyschides* (Lightfoot) Batters, produjo los menores incrementos.

La incorporación de las algas causó un ligero Efecto Directo sobre el N del suelo. *Ulva rígida* Agardh., *Chondrus crispus* (L.) Lingb. y *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link., fueron las especies que dieron lugar a una mayor cantidad de N en el mismo como consecuencia de la mayor cantidad de este elemento en su composición.

El Efecto Directo y el Efecto Residual de la adición de las diferentes especies sobre el contenido de P asimilable del suelo fue muy marcado, duplicándose en el caso de las especies que aportan menores cantidades. Mientras que el suelo tratado con *Sacchorriza polyschides* (Lightfoot) Batters, el contenido de P fue casi veinte veces respecto al control en efecto directo.

El Efecto Directo sobre el complejo de cambio se observa en la Tabla 5. En general, se apreció un incremento de las bases de cambio y de la capacidad de intercambio catiónico efectiva con relación al control. Lo más destacable fue la disminución del porcentaje de saturación de Al en el complejo de cambio, que modificó el carácter álico del suelo que poseía una saturación de Al del 69,56%, llegando en el caso del tratamiento con *Halidrys siliquosa* (L.) Lyngb. a reducirse prácticamente a la mitad. Posiblemente esto se debió a que esta especie fue la que presentó las concentraciones más elevadas de Ca y Mg. Este efecto fue menos marcado en el suelo tratado con *Desmarestia aculeata* (Lightfoot) Lamour. donde el contenido de Al bajó solamente un 10%, siendo esta especie la que presentó contenidos mas bajos de Ca y Mg.

Inmediatamente después de la incorporación de las diferentes especies de algas, aumentó la relación K/Bases de cambio con

Tabla 5. Cationes de cambio y capacidad de intercambio catiónico de un suelo luego de 30 días del agregado de distintas especies de Algas (Efecto Directo).

Table 5.- Exchangeable cations and cation exchange capacity of a soil after 30 days of seaweed species application. (Direct Effect).

Especie	CATIONES DE CAMBIO									
	Ca	Mg	K	Na	S	Al	Al	CICE	K/S	Ca/Mg
	cmol. kg ⁻¹						%	cmol. kg ⁻¹		
H.S.	2,10b	2,90cd	1,10ab	1,92b	8,32c	4,23a	33,80a	12,57b	0,17ab	0,72a
S.P.	1,90ab	1,35b	1,95b	1,90b	7,10b	3,49ab	43,07b	12,59b	0,27b	1,41a
D.A.	0,80a	0,95ab	1,37ab	1,82b	5,21a	6,70b	56,25bc	11,91ab	0,26b	0,84a
C.C.	0,80a	1,39b	2,01b	1,30ab	3,44a	4,90ab	47,33b	19,37ab	0,38ba	0,62a
C.N.	2,10b	0,80ab	2,36bc	1,91	7,20b	4,91ab	49,89ab	12,14b	0,33ba	2,63b
C.S.	1,90ab	0,95ab	1,97b	1,92b	6,72b	1,32a	39,15ab	11,01ab	0,29b	2,01b
T.R.	1,80ab	1,45b	2,00b	1,88b	6,93b	4,50a	39,37ab	11,43ab	0,29b	1,10a
T.I.	2,00b	0,95ab	2,50bc	1,99b	7,65b	5,48a	41,74ab	11,33a	0,33ba	2,20b
H.F.	2,45bc	1,70c	1,44ab	1,90b	7,45b	4,80a	38,87ab	12,35b	0,19ab	1,44a
C.	1,70ab	0,54a	2,18b	1,84b	6,09b	6,46b	31,60ba	12,52b	0,26ba	3ba
C.B.	2,40bc	1,15bc	1,30ab	1,36ab	6,31b	4,90ab	43,94ab	11,41ab	0,50ab	1,66ab
U.L.	2,10b	1,10ab	1,25ab	1,95b	6,46b	4,05a	38,48ab	10,50ab	0,30ab	1,90ab
Control.	1,80a	0,5a	0,10a	1,13a	2,73a	6,24b	69,56c	8,97a	0,04a	3,0b

En cada columna los valores medios seguidos por la misma letra o letras no son valores significativos al nivel 0,05 de probabilidad

lo cual se atenuó el desequilibrio nutricional potásico para las plantas y se redujo, en general, la proporción Ca/Mg, evitando también desequilibrios entre estos cationes. Sin embargo, debe señalarse que en el suelo tratado con *Gymnogongrus norvegicus* (Gunner) Agardh. y *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link. esta relación aumentó.

El Efecto Residual sobre el complejo de cambio (Tabla 6) se apreció fundamentalmente en un aumento significativo de la capacidad de intercambio catiónico efectiva, salvo disminución en el suelo tratado con *Ulva lactuca* L., este resultado está influenciado por el bajo contenido de materia orgánica de este suelo. El Al de cambio sufrió una disminución, excepto en el suelo tratado con *Desmarestia aculeata* (Lightfoot) Lamour. en el que aumentó ligeramente.

En la Tabla 7 se puede observar que el contenido de todos los elementos metálicos estudiados aumentaron significativamente con

relación al control luego de la incorporación de todas las algas, aunque las mayores variaciones las presentaron Zn y Fe, que se encontraban en mayor proporción en todas las especies. Los contenidos de Co, Cu y Mn aumentaron en general muy poco. Fueron *Ulva rigida* Agardh. para Co, *Enteromorpha ramulosa* (Smith) Hook. para Cu y *Sacchoriza polyschides* (Lightfoot) Batters para Mn, las especies que produjeron los mayores incrementos en el suelo. En el caso del Fe y Zn, fueron *Himantahalia elongata* (L.) S.F. Gray y *Enteromorpha ramulosa* (Smith) Hook. las que aportaron respectivamente, mayores cantidades iniciales de estos elementos.

El Efecto Residual que el agregado de cada especie produjo sobre los contenidos de metales pesados, se muestra en la Tabla 8. En ella se aprecia que los mayores incrementos de Co los produjo la adición de *Desmarestia aculeata* (Lightfoot) Lamour. y

Tabla 6. Cationes de cambio y capacidad de intercambio catiónico de un suelo, luego de 90 días del agregado de distintas especies de algas y el crecimiento de cebada (Efecto Residual).

Table 6.- Exchangeable cations and cation exchange capacity of a soil after 90 days of the application of different seaweed species and barley growth (Residual Effect).

Especie	CATIONES DE CAMBIO							CEC _e cmol. kg ⁻¹	K ₂ O g kg ⁻¹	Ca/Mg
	Ca	Mg	K	Na	N	Al	Al			
	cmol. kg ⁻¹									
H.A.	1.76b	2.60d	1.15ab	0.80a	6.03e	3.91a	39.70g	10.00e	0.19a	0.66a
S.F.	1.30ab	1.00cd	1.64b	0.61a	4.74b	5.26b	52.60c	10.00c	0.33a	1.30ab
D.A.	0.40a	0.60d	0.97ab	0.52a	3.49a	6.41bc	72.12de	8.93b	0.30ab	0.67a
C.C.	1.30ab	0.90c	1.74b	0.86ab	4.80b	4.51ab	48.44bc	9.31b	0.31ab	1.36ab
Ci N.	1.80b	0.44ab	2.00bc	0.60a	4.84b	1.59ab	48.07bc	9.43bc	0.41b	1.09cd
Ci S.	1.60ab	0.68b	1.64b	0.60a	4.52b	4.00a	46.95b	8.52ab	0.36ab	2.35bc
F.R.	1.50ab	0.82bc	1.69b	0.52a	4.53b	4.20ab	48.46bc	8.79ab	0.37ab	1.83b
F.L.	1.90b	0.66b	2.20bc	0.69a	5.45bc	5.00b	48.15bc	10.51cd	0.40b	2.88c
H.F.	2.20bc	1.30cd	1.18ab	0.60a	5.28bc	4.30ab	41.89ab	9.58bc	0.27a	1.60ab
L.	1.40ab	0.18a	1.00bc	0.52a	4.00ab	0.19bc	60.75cd	10.19c	0.43b	7.78cd
U.R.	2.20bc	1.10cd	1.08ab	0.99ab	3.37bc	4.40ab	45.04ab	9.77bc	0.20a	2.00b
U.L.	1.90b	0.82bc	0.82a	0.60a	3.82ab	3.75a	32.04a	7.07a	0.25a	2.32bc
Control	1.10ab	0.18a	1.13ab	0.60a	3.51ab	6.01bc	64.48d	9.33b	0.34ab	7.78cd

En cada columna los valores medios seguidos por la misma letra o letras no son valores significativos al nivel 0,05 de probabilidad.

Tabla 7. Contenidos de Co, Cu, Fe, Mn y Zn asimilable en un suelo, luego de 30 días del agregado de distintas especies de algas (Efecto Directo).

Table 7.- Contents of available Co, Cu, Fe, Mg and Zn of a soil after 30 days of different seaweed species application. (Direct Effect).

Especie	Co	Cu	Fe	Mn	Zn
			mg.kg ⁻¹		
H.S.	2,5b	15,5b	404ab	94ab	106a
S.P.	2,0ab	14,0ab	420b	120bc	118ab
D.A.	2,9b	14,2ab	360ab	112b	116ab
C.C.	1,4a	14,4ab	320ab	104b	112ab
G.N.	1,4a	14,2ab	445b	118bc	124b
G.S.	1,9ab	16,0bc	520bc	108b	118ab
E.R.	1,4a	16,8bc	430b	102b	154c
E.I.	1,5a	14,4ab	400b	104b	152c
H.E.	1,5a	16,2bc	525bc	98ab	130bc
C.	1,4a	15,4b	485bc	115bc	90a
U.R.	3,0b	15,4b	425b	80a	125b
U.L.	2,4b	15,0b	520bc	80a	121b
Control.	0,9a	10,0a	198a	80a	90a

En cada columna letras diferentes indican diferencias significativas al nivel 0,05 de probabilidad

Ulva rígida Agardh., mientras que las restantes especies dieron lugar a un muy escaso, o nulo, Efecto Residual. Fue también *Ulva rígida* Agardh. la especie que dio lugar al mayor Efecto Residual de Cu en el suelo y *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link. de Zn, mientras que las restantes produjeron efectos menores, e incluso nulos. Todas las especies, salvo *Chondrus crispus* (L.), dieron lugar a un ligero Efecto Residual de Fe, siendo *Gymnogongrus norvegicus* (Gunner) Agardh., la que presentó el mayor contenido.

Todas las especies analizadas provocaron un ligero Efecto Residual de Mn en el suelo. El mayor fue el producido por *Sacchoriza polyschides* (Lightfoot) Batters., *Gymnogongrus norvegicus* (Gunner) Agardh. y *Codium* sp, aunque los contenidos no llega-

Tabla 8. Contenidos de Co, Cu, Fe, Mn y Zn asimilable de un suelo, luego de 90 días del agregado de distintas especies de algas y el crecimiento de cebada (Efecto Residual).

Table 8.- Contents of available Co, Cu, Fe, Mg and Zn of a soil after 90 days of different seaweed species application and barley growth (Residual Effect).

Especie	Co	Cu	Fe	Mn	Zn
			mg.kg ⁻¹		
H.S.	2,0b	13,5b	322ab	62ab	76ab
S.P.	1,5ab	12,5ab	336b	92c	88b
D.A.	2,5bc	12,5ab	336b	80bc	88b
C.C.	1,0a	12,5ab	308a	76b	74ab
G.N.	1,0a	12,0a	370bc	92c	91bc
G.S.	1,5ab	13,0b	308a	80bc	88b
E.R.	1,0a	13,5b	322ab	78b	113cd
E.I.	1,0a	12,5ab	322ab	80,bc	134d
H.E.	1,0a	12,5ab	322ab	76,b	106c
C.	1,0a	13,5b	336b	92,c	64a
U.R.	2,5bc	14,0bc	322ab	62,ab	92bc
U.L.	2,0b	13,5b	322ab	76b	111cd
Control.	1,0a	12,0a	308a	58a	63a

En cada columna letras diferentes indican diferencias significativas al nivel 0,05 de probabilidad

ron a niveles nocivos para los cultivos.

En ningún caso el suelo tratado presentó contenidos de Co y Cu que pudieran provocar efectos tóxicos sobre los cultivos, o que pudieran impedir la aplicación de otra dosis de cada especie antes de efectuar una nueva siembra.

Rendimientos y contenido de elementos de cebada

La Tabla 9 muestra la producción de materia seca de cebada en el suelo tratado con diferentes especies. En el suelo abonado con *Gelidium sesquipedale* (Turner) Thur. se obtuvo la mayor producción, casi cuatro veces superior a la del control, seguido por el tratado con *Sacchoriza polyschides* (Lightfoot) Batters. Solamente en los que recibieron

Halidrys siliquosa (L.) Lyngb., *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link., *Ulva rígida* Agardh. y *Codium* sp. la producción fue ligeramente inferior o igual a la del control.

La absorción de los elementos traza por el cultivo fue variable (Tabla 10), destacándose el del tratamiento con *Halidrys siliquosa* (L.) Lyngb. por la cantidad de Zn absorbido y con *Codium* sp. y *Chondrus crispus* (L.) Lingb. por la absorción de Fe; siendo también esta última la que produjo mayor absorción de Cu por el vegetal.

En general, las plantas desarrolladas en el suelo abonado con cualquiera de las especies presentaron contenidos mayores de Fe, Mn y Zn que las crecidas en el control, destacando asimismo la menor absorción de Cu y Co.

Tabla 9. Producción de materia seca de cebada luego del agregado de diferentes especies de algas.

Table 9.- Barley dry matter production after the application of different seaweed species.

Especie	Producción
	kg.ha ⁻¹
H.S.	530a
S.P.	2120d
D.A.	1130bc
C.C.	1115bc
G.N.	2060d
G.S.	2760de
E.R.	1830cd
E.I.	600a
H.E.	820b
C.	770ab
U.R.	710ab
U.L.	1650c
Control.	770ab

En cada fila letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$).

El tratamiento con *Halidrys siliquosa* (L.) Lyngb. produjo la mayor absorción de Cu y Zn, y la menor producción del cultivo. Por esta razón debe evitarse que las mezclas de algas que se vayan a utilizar como abono contengan una gran proporción de esta especie, ya que su aplicación continua podría, a largo plazo, ocasionar fenómenos de toxicidad por estos elementos.

CONCLUSIONES

El contenido de materia orgánica de la mayoría de las especies de algas utilizadas superó el 50%, salvo *Ulva lactuca*, L. y *Sacchoriza polyschides* (Ligghtfoot) Batters, que no alcanzaron el 30%.

Halydris siliquosa (L.) Lyngb., *Sacchoriza polyschides* (Ligghtfoot) Batters y *Ulva rígida* Agardh, contenían cinco veces más K que las restantes y las dos primeras más concentración de P. Los niveles de N no fueron muy altos, aunque algunas especies como *Ulva rígida* Agardh, *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link. y *Chondrus crispus* (L.) Lingb. superaron el 2%. En todas las especies fueron relativamente altos los contenidos de Ca, Mg y Al, Fe y Zn, y bajos los de Co, Cu y Mn.

Todas las especies aumentaron el pH del suelo y disminuyeron el Al de cambio. El contenido de P del suelo aumentó con todas las especies, sobre todo con *Halydris siliquosa* (L.) Lyngb., y *Sacchoriza polyschides* (Ligghtfoot) Batters.

En la mayoría de los suelos tratados aumentó el contenido de bases de cambio y la capacidad de intercambio catiónico efectiva. Todas las especies produjeron un incremento significativo en las cantidades disponibles de Fe, Mn y Zn en el suelo.

La producción de materia seca en el suelo abonado con todas las especies fue superior a la del control, salvo cuando se aplicó *Halydris siliquosa* (L.) Lyngb., *Ulva rígida* Agardh y *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link. El cultivo desarrollado en el suelo abonado con *Halydris siliquosa* (L.) Lyngb. fue el que absorbió mayor cantidad de Cu y Zn, por lo que las mezclas a utilizar no deberían contener una proporción muy elevada de esta especie, para evitar problemas de toxicidad.

La adición de las algas marinas al

Tabla 10. Contenidos de elementos en el cultivo de cebada luego del agregado al suelo de diferentes especies de algas.

Table 10.- Element contents in barley after the application of different seaweed species.

specie	N	P	K	Na	Mg	Ca	Cu	Co	Fe	Mn	Zn
	%	mg.kg ⁻¹									
H.S.	1,30ab	34b	80b	42ab	66bc	140b	4b	1,5a	346b	90ab	326cd
S.P.	1,26ab	46bc	96b	56b	38a	58a	2ab	5b	346b	146bc	223c
D.A.	0,98a	27ab	50a	61bc	42ab	66a	2ab	5b	347b	61ab	115bc
C.C.	2,30b	25ab	63ab	64bc	50b	154bc	6bc	2ab	399c	58a	116bc
G.N.	1,30ab	34b	60ab	50b	50b	86ab	2ab	4b	347b	91ab	98b
G.S.	1,30ab	34b	60ab	38ab	36a	140b	2ab	1a	377bc	91ab	88ab
E.R.	1,50ab	29ab	59ab	48b	30a	140b	3ab	2ab	318a	124b	87ab
E.I.	2,30b	32b	50a	40ab	55b	140b	3ab	2ab	333ab	60a	99b
H.E.	1,20ab	16a	52a	36a	50b	90ab	3ab	4b	348bc	60a	98b
C.	1,00ab	14a	64ab	73c	48ab	110ab	4b	1a	399c	110ab	88ab
U.R.	2,40b	14a	108bc	66bc	44ab	141b	2ab	1a	330ab	111ab	88ab
U.L.	1,20ab	39bc	50a	61bc	36a	140b	3ab	2ab	319a	111ab	75a
ontrol.	1,36ab	11a	57a	32a	32a	58a	1a	1a	317a	58a	75a

En cada columna los valores medios seguidos por la misma letra o letras no son significativamente diferentes al nivel 0,05 de probabilidad

suelo es un método adecuado para proceder a su eliminación, ya que aumentan el contenido de nutrientes y la producción de materia seca de cebada, sin provocar efectos nocivos ni a los suelos ni a los cultivos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la colaboración técnica de D^a Rocío Iglesias Alonso.

REFERENCIAS

- Aitken J B, Senn T L. 1965. Seaweed products for horticultural crops. Bot. Mar. 8: 144-48.
- Alexander T G, Robertson J A. 1968. Ascorbic acid as a reductant for total phosphorus determination of plant available micronutrients in soils. Can. J. Soil Sci. 48: 217-218.
- Arevalo A. 1965. Contenido y variaciones del potasio y del nitrógeno en la *Sacchariza bulbosa* (Huds.) dela Pyl. Empleo de dicha especie como abono potásico. Bol. Inst. Esp. Ocean. 22:12-19.
- Button E F, Noyes C.F. 1964. Effect of a seaweed extract upon emergence and survival of creeping red fescue. Agron. J, 56:444-445.
- Chapman V J, Chapman D J. 1980. Seaweed and their uses. Chapman and Hall. New York. 334 pp.
- Cobertera E. 1993. Edafología aplicada. Catedra. Madrid. 326 pp.
- Francki R I B. 1960. Studies in manurial values of seaweeds. I. Effects of *Pachymenia himantophora* and *Durvillea antarctica* meals on plant growth. Plant Soil 12:297-304.
- Francki R I B. 1964. Studies in manurial values of seaweeds. III Effect of *Pachymenia himantophora* on manganese release and physical properties of soils. Plant Soil 20:65-73.
- Gayral P. 1966. Les algues des côtes françaises (Manche et Atlantique). Editions Doin. Paris. 632 pp.
- Gero J B, Varlet F. 1959. La composition minerale des algues *Rhodophycees gelidium sesquipedale* des côtes du maroc. Bull IPMM., 3:67-80.
- Goatley J M, Schmidt R E. 1990. Seedling Ken-

- tucky Bluegrass Grwth responses to Chelated Iron and Biostimulator Materials. Agron J, 82:901-905.
- González C, Arines J, Fábregas R. 1982. Efecto de una mezcla de algas marinas sobre la producción de materia seca y nutrición de plantas de tomate. Agrochimica, XXVI: 509-518.
- Guitián Ojea F, Carballas T. 1976. Técnicas de análisis de suelos. Pico Sacro. Santiago de Compostela. España. 68 pp.
- Hammel W, Steubing L, Debus R. 1998. Assessment of the ecotoxic potential of soil contaminants by using a soil-algae test. Ecotoxicology and Environmental Safety. 40:173-176.
- Hansen J F, Indergaard M, Østgaard K, Bævre O A, Pedersen T A, Jensen A. 1987. Anaerobic digestion of *Laminaria spp.* and *Ascophillum nodosum* and application of end products. Biomass 14:1-13.
- Jensen A, Nebb H, Saeter F. 1968. The value of Norwegian seaweed meal as a mineral supplement for dairy cows. Rep. Norw. Inst. Seaweed. R.:32- 35.
- Lakanen E, Ervio R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soil. Acta Agric. Fenn. 123:223-232.
- López M E, Pazos P. 1997. Effects of seaweed on potato yields and soil chemistry. Biological Agriculture and Horticulture. 14:199-205.
- Mehlich A. 1978. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. Comm. Soil Sci. Plant. Anal. 9:477-492.
- Morand P, Charlier Rh, Mazé J. 1990. European bioconversion projects and realizations for macroalgal biomass: Saint-Cast-Le-Guildo (France) experiment. In Lindstrom SC & Gabrielson PW (eds), Thirteenth International Seaweed Symposium. Developments in Hydrobiology 58. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 301-308. Reprints from Hydrobiologia 204/205.
- Murphy J L, Riley J P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. Anal. Chim. Acta 27:31-36.
- Myklestad S. 1963. Experiments with seaweed as supplemental fertilizer. In: Proceedings of the 4th International Seaweeds Symposium. Pergamon Press, Oxford. 432 pp.
- Olsen S R, Cole L V, Watanabe F S. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939.
- Porta Casanellas J, Lopez-Acevedo Reguerín M, Roquero De Laburu C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa. Madrid. 807 pp.
- Real Hardisson F. 1987. Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en el alga *Cystoseira abies* marina. Alimentaria 9:93-95.
- Senn T L, Martin J A, Crawford J H, Derting C W. 1961. S. Carolina Agr. Exp. Sta. Res. Ser., No. 23.
- Stephenson W M. 1966. The effect of hydrolysed seaweed on certain plant pests and diseases. Proc. Fifth Int. Seaweed. Symp. London. Pergamon Press, 405-415.
- Warman P R, Munro-Warman T R. 1993. Do seaweed extracts improve vegetable production?. In: Optimization of Plant Nutrition. Fragoso M. A. C., van Beusichen M. L. (eds). Kluwer Academic Publ. Netherlands, 317 pp.
- Yvin J C. 1994. New approach to the mode of action of seaweed extracts in agriculture. Comptes Rendus de l'Academie d'Agriculture de France. 80:103-112.
- Zunino H, Peirano P, Aguilera M. 1971. Effect of seaweed on phosphorus availability of a soil derived from volcanic ash. Agron. J. 63:116-120.