

LAS MACROALGAS MARINAS EN LA AGRONOMÍA Y EL USO POTENCIAL DEL SARGASSUM FLOTANTE EN LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES EN EL ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA, COLOMBIA¹

MARINE MACROALGAE IN THE AGRONOMY AND POTENTIAL USE OF FLOATING SARGASSUM FOR MANURE PRODUCTION IN THE SAN ANDRES AND PROVIDENCIA ARCHIPELAGO, COLOMBIA

Germán Bula-Meyer

RESUMEN

Se hace un recuento del uso de las macroalgas marinas en la agronomía y del potencial que para esta actividad tiene el *Sargassum* flotante que arriba a las islas de San Andrés y Providencia, el cual, hasta el momento ha sido un estorbo para la economía turística. Este *Sargassum* pelágico promete ser un excelente recurso para la producción de abonos.

PALABRAS CLAVE: *Abono de macroalgas; Sargassum flotante; Mar de los Sargazos; Mar Caribe, Archipiélago de San Andrés y Providencia.*

ABSTRACT

An account is made on the use of marine macroalgae in agronomy and the potential that floating *Sargassum* arriving to San Andres and Providencia has for this activity. This *Sargassum*, which has been a nuisance for the tourist economy of the islands, promises to be an excellent resource for manure production.

KEY WORDS: *Macroalgae manure; Floating Sargassum, Sargasso Sea; Caribbean Sea; San Andrés and Providencia Archipelago.*

INTRODUCCIÓN

Las algas marinas han sido utilizadas como fertilizantes desde los principios de la agricultura en Japón y China, en Grecia, en las islas y costas del noroeste europeo y en Chile (Meier, 1942). Desgraciadamente las prácticas diarias de los pequeños agricultores y labradores son raramente recordadas y es sólo a través de los reportes de viajeros y escritores que nosotros podemos descubrir estas actividades rurales tradicionales. Los suelos arenosos de Escocia se han beneficiado de la adición de algas marinas desde antes de 1500 y hasta 1960 varias fincas esparcieron e introdujeron la cosecha del mar en sus campos arados, consiguiendo una producción alta y un mínimo de enfermedades.

Las áreas costeras de Bretaña y Normandía fueron conocidas como el «Cinturón de Oro» de Francia debido a las ricas cosechas provenientes de tierras alimentadas con algas marinas (Surey-Genty Morris, 1987). Aquí los agricultores aplican los algosos (algas de arribazones) y algas cortadas del medio, a los sembrados de cereales, especialmente de cebada, y también a los sembrados de patatas, hortalizas y viñedos, con excelentes resultados.

La agricultura y horticultura en las zonas templadas usan con frecuencia como fertilizantes los productos de algas pardas tales como: *Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia maxima* y *Fucus vesiculosus* (Metting *et al*; 1990). Se emplean con menor frecuencia, especies de *Laminaria* y *Sargassum*. Aunque éstas dos pertenecen a las algas pardas, su uso ha sido determinado principalmente por su tamaño y disponibilidad antes que por una deter-

1 Artículo no sometido a revisión de contenido. homenaje de la revista a su extinto autor.

minación específica conveniente. En Chile, el alga roja *Gracilaria* es utilizada como abono en los cultivos de papa (Kirm, 1970).

El objetivo de este trabajo es hacer un recuento sobre el uso de las algas en la agricultura y lo que podría hacerse en este campo en el archipiélago de San Andrés y Providencia, partiendo del *Sargassum* flotante procedente del mar de los Sargazos.

LAS MACROALGAS MARINAS EN LA AGRONOMÍA

ALGAS FRESCAS O SECAS

Por razones de transporte, el uso de algas directamente como abono se limita necesariamente a las zonas costeras o próximas a ellas. La aplicación directa se refiere al alga sin procesar, es decir fresca o seca. En el primer caso, las algas tan pronto son obtenidas, se esparcen en la tierra y se mezclan con ella, ya sean enteras o cortadas. Es raro que la pequeña cantidad de sal común (NaCl) contenida en las algas tenga algún efecto adverso sobre las plantas, de hecho a la remolacha y los espárragos les sienta bien una pequeña adición de sal. Pero si se desea usar el alga entera húmeda como fertilizante y está dudoso acerca del contenido de NaCl, entonces esparza las plantas en el suelo preparado, semanas antes de las primeras lluvias (Surey-Gent y Morris, 1987).

En cuanto al secado de las algas, ya sean cortadas o enteras, debe realizarse lo más pronto posible, esparciéndolas en un lugar apropiado y a pleno sol, pues de lo contrario se perderán nutrientes. La ventaja de las algas secas es que se pueden almacenar y obtener productos derivados de ellas. En un período de sequía como San Andrés, 3-4 días serían suficientes para tal propósito.

PRODUCTOS DE ALGAS

El tratamiento de cosechas con algas ha crecido en popularidad, lo cual ha conducido al desarrollo de un gran número de productos procesados (S.M. 3, Maxicrop, Alginex, Seanol, Seamac, Kelpak y otros), facilitando de esta manera su uso y almacenamiento. Estos se pueden encontrar de las siguientes formas: 1) harinas (algas secadas y

molidas en un polvo grueso), usadas en grandes volúmenes para suplementar suelos o para mezclar en medios definidos, en los invernaderos, 2) polvos, y 3) extractos líquidos y concentrados empleados para enraizar, remojar suelos y como aspersores foliares (Metting *et al.*; 1990). Los extractos líquidos son hechos mediante una serie de procesos que incluyen la agitación de un macerado del alga en agua caliente, hidrólisis ácida o alcalina con o sin vapor y a presión. En el método más reciente, se produce un concentrado sin tener que acudir a un tratamiento químico o con calor. El material es sometido a un cambio rápido de presión que rompe los componentes estructurales de las células permitiendo liberar prácticamente todos los constituyentes intracelulares, incluyendo los reguladores de crecimiento del alga (RCPs). Las harinas y los extractos líquidos son hechos del mismo tipo de alga o especie y por lo tanto tienen ciertas cualidades comunes. Por ejemplo, ambos proveen al menos muchas trazas de elementos minerales. Desde los años 60, el uso comercial de extractos concentrados de algas como aspersores foliares, para el tratamiento de semillas y como humedecedores de raíces, se ha incrementado mucho más rápido que el de las harinas como un aditivo de suelos. Esto se podría atribuir a que el extracto y el concentrado son relativamente más fáciles de transportar y almacenar comparados con la harina, y a la eficiencia con que los constituyentes activos están disponibles biológicamente cuando los productos son aplicados directamente en lugar de mezclar otras formas con el suelo.

EFFECTOS DE LAS ALGAS SOBRE EL SUELO Y EN LAS PLANTAS

Las algas en estado fresco o secas, o en harina aplicadas a los suelos, tienen dos funciones principales: 1) como fertilizantes, promueven el crecimiento de la planta ya que liberan lentamente los nutrientes minerales y orgánicos, y 2) como acondicionador del suelo, mejorando la aireación y adicionando estabilidad (Metting *et al.*, 1990).

SOBRE EL SUELO

La propiedad de acondicionamiento del suelo por el alga es atribuida al ácido algínico, el cual comprende cerca de 1/3 del contenido de los carbohidratos que contiene la planta (Quastel y

Webley, 1947). Al descomponerse, éstos se hunden en el suelo y fomentan la multiplicación de las bacterias propias del mismo. Esta acción acondicionadora del suelo mejora la estructura haciéndolo más particulado y estable y por lo tanto favoreciendo la capacidad del suelo de retener agua. Al mismo tiempo los nutrientes son liberados dentro del suelo para ser asimilados por las plantas. Los elementos trazas inorgánicos retenidos en el suelo, no pueden ser utilizados por las plantas, sin embargo, éstos pueden ser liberados y hacerse disponibles cuando se mezclan las algas con el suelo. Aunque cualquier material vegetal en putrefacción reduce el nitrógeno disponible, las algas descompuestas tienen menor efecto porque contienen muy poca celulosa (5%, a diferencia de las plantas terrestres que son muy ricas y de ahí su gran rigidez) (Aitken y Senn, 1965). Aún, usando el alga intacta sobre la tierra, ésta puede ser tomada como un fertilizador a largo plazo ya que la descomposición gradual y la liberación de nutrientes dentro del suelo, aseguran que el crecimiento de la planta se mantenga. Si bien la «glutinosis» de un suelo, dada por la algina, reduce la pérdida de la capa superior debido a la erosión por el viento, se debe evitar que su superficie se torne en una sustancia gelatinosa, ya que la impermeabilizará, complicando los sembrados (Surey-Gent y Morris, 1987).

Un beneficio de la aplicación de las algas en suelos cultivados de zonas tropicales, es la resistencia de éstos de lixiviar los elementos trazas durante las fuertes lluvias torrenciales, después de largos periodos de sequía.

SOBRE LAS PLANTAS

Las respuestas de las plantas a la aplicación de las algas son múltiples y variadas. Estas incluyen una mayor cosecha, incrementan la absorción de los nutrientes, cambios en la composición del tejido de la planta, aumentan la resistencia al congelamiento y a las enfermedades fúngicas y ataque de insectos, alargan la vida del fruto, mejoran la germinación de la semilla e incrementan la clorofila y el tamaño de las hojas (Metting *et al*; 1990) (Tabla 1).

Químicamente las algas son ricas en minerales y carbohidratos y su concentración supera mucho más a las de proteínas y grasas (Tabla 2). Por lo general un alga no procesada tiene un contenido similar de N al de muchos abonos animales, con

menos P, pero con más K, total de sales y gran disponibilidad de micronutrientes (Tabla 3) (Stephenson; 1974; Surey-Gent y Morris, 1987).

Muchos libros de jardinería muestran detalles gráficos de los efectos producidos por las deficiencias de minerales en las plantas. La falta de boro en las manzanas produce una textura semejante al corcho (esponjosa), en la coliflor, dureza, coloración púrpura y pocas semillas y endurecidas. La deficiencia de zinc en la planta hace que se produzcan pocas hojas; de manganeso, resulta en plantas pálidas y amarillosas con brotes de hongos. Una planta pequeña con una raíz bastante reducida, puede indicarnos que le falta cobre y así la lista podría continuar, pero los remedios no son simples. Las macroalgas marinas contienen todos los nutrientes mayores y menores y elementos trazas para las plantas (Stephenson, 1974; Senn, 1987). Sin embargo, la presencia de estos constituyentes inorgánicos como una posible explicación del crecimiento de la planta, no es adecuada debido a que las cantidades de algas aplicadas a la cosecha (fracción de Kg/ha) son usualmente pequeñas. Los carbohidratos pueden actuar como agentes quelantes. El ácido algínico, la laminarina y el manitol (compuestos de las algas pardas) contenidos en las preparaciones comerciales, representan alrededor de la mitad del contenido total de carbohidratos. Las algas también incluyen un amplio rango de aminoácidos (Tabla 4) y vitaminas esenciales (Tabla 5) para el crecimiento que podrían ser utilizados por las plantas en cultivo.

Los minerales o elementos trazas no son los únicos que hacen a las algas deseables en las huertas (Tabla 6). Existen compuestos bioactivos que pueden influenciar el crecimiento celular (Metting *et al*; 1990). Estos son las hormonas conocidas como auxinas, giberilinas y citoquininas. Ellas no sólo actúan directamente sobre el crecimiento de las plantas, sino que también parecen actuar como catalizadores para estimular las hormonas de la planta misma. Los experimentos por muchos años compararon la nutrición de plantas con algas con aquellas con compuestos «sintéticos», demostrando que las últimas tienen un desarrollo más pobre de la raíz, área foliar y crecimiento que las tratadas con algas.

Tabla 1. Efecto de los productos comerciales de macroalgas aplicados al suelo en el crecimiento de especies vegetales (AF: Aspersión foliar, SL: Suelo lavado; SS: Semilla sumergida; RS: Raíz sumergida; HM: Harina de macroalga; CL: Cultivo líquido; FS: Fruto sumergido)*: Efecto positivo por la aplicación del alga. 0: Ningún efecto por la aplicación del alga. -: Efecto negativo por la aplicación del alga

Especie de vegetal	Aplicación de la macroalga o preparación comercial	Concentración	Producción de la planta	Peso seco del brote	Peso seco de la raíz	Peso seco total	Retarda el envejecimiento del fruto	Incremento de la resistencia a las heladas	Incremento en la absorción de nutrientes	Reducción de la incidencia de insectos	Mejor germinación de la semilla	Incremento del crecimiento de la raíz	Mejorar la eficiencia en el uso del fertilizante	Reducida incidencia del ataque de nemátodos	Promedio de la masa de semillas	Comentarios adicional
<i>Allium cepa</i> (Cebolla)	<i>Laminarina saccharina</i>	(SL) 1:100	+			+										Incremento significativo extracto de ceniza en pe húmedo y seco.
<i>Beta brasiliensis</i> (Espinaca)	<i>L. saccharina</i>	(SL) 1:100	+			+										
<i>Citrullus lanatus</i> (Melón ambrosia)	<i>Ascophyllum nodosum</i>	(HM)							+							Incremento en la absorc Mg, N, y Ca y también e contenido de azúcar en
<i>Cucumis sativa</i> (Cohombro)	Kelpak 66	(RS) 1:250			0	0										Extracto de macroalga aplicado a plantas bajo t por nutrientes
<i>Daucus carota</i> (Zanahoria)	Maxicrop	(AF) 701 Kg/ha			+											Incremento de casi un 1 en el rendimiento.
<i>Glycine max</i> (Soya)	<i>A. nodosum</i> (Harina)	(AF)			+											Incremento significativo contenido de proteínas.

Tabla 1. Efecto de los productos comerciales de macroalgas aplicados al suelo en el crecimiento de especies vegetales (AF: Aspersión foliar, SL: Suelo lavado; SS: Semilla sumergida; RS: Raíz sumergida; HM: Harina de macroalga; CL: Cultivo líquido; FS: Fruto sumergido) *: Efecto positivo por la aplicación del alga. 0: Ningún efecto por la aplicación del alga. -: Efecto negativo por la aplicación del alga

Especie de vegetal	Aplicación de la macroalga o preparación comercial	Concen-tración	Producción de la planta	Peso seco del brote	Peso seco de la raíz	Peso seco total	Retarda el envejecimiento del fruto	Incremento de la resistencia a las heladas	Incremento en la absorción de nutrientes	Reducción de la incidencia de insectos	Mejor germinación de la semilla	Incremento del crecimiento de la raíz	Mejorar la eficiencia en el uso del fertilizante	Reducción incidencia del ataque de nemátodos	Promedio de la masa de semillas	Comentarios adicional
<i>Ipomea batatas</i> (Patata dulce)	<i>A. nodosum</i> (HM)		+	+	+					+				+		Incremento en la absorción de Mg, N y Ca. Harina de la macroalga combinada con fertilizante 5-10-10, incrementa la producción un 100%
<i>Lactuca sativa</i> (Lechuga)	Maxicrop (AF)	1:200	+							+						Disminución significativa número de lechugas enfermas.
<i>Lycopersicon esculentum</i> (Tomate)	Kelpak 66 (CL)	1:100												+		Medidas de la longitud de raíz y del número de laterales de un cultivo de raíces in vitro
Tomates desarrollándose en un suelo infectado de nemátodos	Kelpak 66 (AF)	1:500	+	+	+	+					+					SWC es aplicado a un suelo lavado que ha incrementado el número de nemátodos en el suelo pero reduciendo el número de raíces.
<i>Mangifera indica</i>	S.M.3. (FS)															Incremento significativo en el número de raíces.

Tabla 2. Composición bromatológica de algunas macroalgas del Caribe (según Burkholder *et al*; 1971). Los valores se expresan en base al contenido de materia seca g/100g). (a) y (b) significan que las muestras de *Acanthophora*, *Caulerpa* y *Halimeda* fueron recolectadas en diferentes lugares. las especies citadas en la tabla se encuentran en la Costa colombiana

Especies	Cenizas	Grasas	Proteínas N*6.25	Fibra cruda	Carbohidratos
<i>Acanthophora spicifera</i> (a)	64.94	0.32	8.55	3.86	22.23
<i>A. spicifera</i> (b)	65.02	0.49	5.82	5.33	23.25
<i>Agardhiella ramosissima</i>	28.6	0.25	10.46	3.12	57.51
<i>Bryothamnion seaforthii</i>	42.26	0.52	9.91	11.17	36.14
<i>Bryothamnion triquetrum</i>	53.02	0.46	8.80	10.03	27.69
<i>Caulerpa racemosa</i> (a)	70.35	0.76	8.06	4.29	15.55
<i>C. racemosa</i> (b)	57.04	3.06	7.90	6.77	25.23
<i>Ceramiun nitens</i>	47.90	0.40	14.06	4.15	33.48
<i>Chondria littoralis</i>	46.40	0.44	10.44	4.76	37.95
<i>Codium isthmocladum</i>	57.54	1.07	10.32	0.69	30.40
<i>Coelothrix irregularis</i>	62.59	0.62	14.13	8.78	13.81
<i>Dictyopteris delicatula</i>	57.53	0.80	8.65	8.19	24.83
<i>Dictyota menstrualis</i>	41.15	1.67	10.68	10.15	36.35
<i>Dictyota guineensis</i>	45.91	1.33	5.56	8.23	38.98
<i>Gracilaria dominguensis</i>	40.29	0.21	8.24	4.07	47.19
<i>Halimeda opuntia</i> (a)	89.68	0.24	4.03	6.02	0
<i>Halimeda opuntia</i> (b)	84.63	0.34	3.54	13.39	0
<i>Hypnea musciformis</i>	50.81	0.35	11.22	3.86	33.75
<i>Hypnea spinella</i>	63.47	0.36	7.56	3.61	24.98
<i>Laurencia obtusa</i>	57.63	2.79	9.50	4.99	25.10
<i>Padina gymnospora</i>	44.41	0.71	6.76	7.29	40.84
<i>Penicillus capitatus</i>	72.31	1.12	8.41	11.36	6.79
<i>Lobophora variegata</i>	24.64	0.22	3.91	10.65	60.57
<i>Sargassum platycarpum</i>	36.78	0.37	6.86	7.95	48.70
<i>Sargassum rigidulum</i>	40.70	0.35	5.92	8.20	44.84
<i>Sargassum landigerum</i>	43.70	0.45	6.37	7.94	41.55
<i>Spathoglossum schroederi</i>	60.22	0.85	9.03	6.95	22.95
<i>Ulva fasciata</i>	38.29	0.36	9.70	5.15	46.51
<i>Stypopodium zonale</i>	14.28	0.56	6.69	10.15	68.32

Tabla 3. Comparación del contenido de materia orgánica, Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) entre el abono Farmyard y el alga parda *Ascophyllum*; cantidad analizada 10 Kg c/u.

	Abono Farmyard	<i>Ascophyllum fresco</i>
Materia orgánica	1.72 Kg	1.81 Kg
Nitrógeno	0.05	0.05
Fosfato	0.03	0.01
Potasa	0.07	0.12

Tabla 4. Contenido de aminoácidos en las proteínas de seis especies de macroalgas marinas del Caribe (Según Burkholder *et al*; 1971). Los valores de la columna izquierda para cada especie se expresan en base al contenido de materia seca (g/100g). tr = traza

Aminoácidos	<i>Acanthophora spicifera</i>		<i>Caulerpa racemosa</i>		<i>Dictyota menstrualis</i>		<i>Gracilaria domingensis</i>			<i>Sargassum platycarpum</i>		<i>Ulva fasciata</i>	
	% g/100g	% N-16	% g/100g	% N-16	% g/100g	% N-16	% g/100	% N-16	% N-16	% g/100g	% N-16	% g/100g	% N-16
Esenciales													
Arginina	0.44	5.17	0.49	6.06	0.56	5.27	0.46	5.60	0.41	6.04	0.62	6.26	
Histidina	0.12	1.35	0.11	1.42	0.15	1.42	0.10	1.20	0.13	1.96	0.16	1.62	
Isoleucina	0.33	3.82	0.43	5.29	0.55	5.16	0.43	5.20	0.29	4.24	0.35	3.59	
Leucina	0.55	6.40	0.69	8.52	1.05	9.82	0.68	8.27	0.48	7.02	0.59	6.03	
Lisina	0.50	5.78	0.33	4.13	0.33	3.14	0.48	5.87	0.35	5.06	0.50	5.10	
Metionina	0.16	1.85	0.17	2.06	0.35	3.34	0.18	2.13	0.17	2.45	0.17	1.72	
Fenilalanina	0.35	4.06	0.64	8.00	0.66	6.18	0.44	5.33	0.34	4.90	0.46	4.75	
Treonina	0.43	5.05	0.51	6.32	0.50	4.66	0.47	5.73	0.30	4.44	0.46	4.75	
Triptofano	0.04	0.49	tr	tr	0.04	0.50	0	0	0.02	0.33	0.14	1.39	
Valina	0.44	5.17	0.57	7.10	0.52	4.86	12.53	12.53	0.39	5.71	0.54	5.57	
No esenciales													
Alanina	0.50	5.78	0.49	6.06	0.69	6.48	0.66	8.00	0.44	6.37	0.81	8.35	
Aspártico	0.97	11.3	0.94	11.7	1.45	1.35	0.98	11.87	0.66	9.63	0.93	9.62	
½ Cistina	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	
Glutámico	0.90	10.4	1.13	14.1	1.35	12.6	1.21	14.67	0.87	12.73	0.96	9.86	
Glicina	0.50	5.78	0.61	7.10	0.56	5.27	0.53	6.40	0.32	4.73	0.57	5.91	
Prolina	0.56	6.53	0.57	7.61	0.45	4.15	0.57	6.93	0.29	4.24	0.44	4.52	
Serina	0.40	4.68	0.45	5.55	0.50	4.66	0.42	5.07	0.27	3.92	0.45	4.64	
Tirosina	0.33	3.82	0.44	5.42	0.50	4.56	0.34	4.13	0.25	3.59	0.35	3.59	
Total		87.5		106		95.7		108.3		87.3		82.3	

Tabla 5. Vitaminas encontradas en las macroalgas. Análisis típico de 500 mg de Kelp (algas pardas gigantes de los mares templados)

Vitaminas	Concentración
Proteínas	25-50 mg
Grasa	10-20 mg
Fibra	40 mg
Ceniza	100-150 mg
Humedad	65-75 mg
Vitamina A	20-33 µg
Vitamina B1	3-4 µg
Vitamina B2	3 µg
Vitamina B3	Traza
Vitamina B5	Traza
Vitamina B12	
Vitamina C	250-1000 µg
Vitamina D	2 µg
Vitamina E	75-150 µg
Ácido pantoténico	1.5 µg
Ácido fólico	0.01 µg
Ácido folínico	0.01 µg
Biotina	0.05-0.2 µg
Vitamina K	Traza
Vitamina S	Traza

Tabla 6. Minerales encontrados en las macroalgas. Análisis típico de 500 mg de Kelp

Minerales	Concentración
Aluminio	200
Boro	35 µg
Bromo	0.5 mg
Calcio	6mg
Cromo	0.5 µg
Cloro	10-30 mg
Cobalto	1.5 µg
Cobre	2 µg
Fluoruro	Traza
Germanio	0.25 µg
Yodo	300-600
Acero	5 µg
Magnesio	0.5 µg
Manganeso	2-5 mg
Molibdeno	20 mg
Níquel	1-3 µg
Nitrógeno	6 mg
Fósforo	0.5 mg
Potasio	10 mg
Plata	0.25 µg
Sodio	3 mg
Estroncio	0.5 µg
Sulfuro	10-20 mg
Selenio	Traza
Vanadio	0.5 µg
Zinc	25-100 µg

La eficacia de algas en cualquier forma, ya sea incorporada en el suelo o rociadas sobre la superficie, las hace muy útiles para rejuvenecer suelos viejos y cansados, permitiendo que se asegure una vida perenne de los cultivos como los de frutales. La liberación de minerales atrapados en el suelo y la adición de nutrientes provenientes de la descomposición de las algas dan a estos árboles un empuje, además la actividad bacteriana del suelo se incrementa y los movimientos subsiguientes de lombrices, aumentan la aireación del suelo. En algunos casos, árboles pobres o no productivos han empezado a fructificar nuevamente. Además, parece ser que el uso continuo de abono a partir de algas hace innecesario rotar los cultivos (Surey-Gent y Morris, 1987).

Las afirmaciones de los horticultores de que las frutas provenientes de plantas tratadas con algas,

tienen una vida más larga, demostraron ser correctas. Los resultados de ensayos en frutales, realizados en Clemson College (USA) y publicados en el «Horticultural News» en 1964, mostraron que en una producción de frutas, un lote proveniente de plantas nutridas con algas y el otro sin tal condición, después de 12 días, 37 frutas se descomposieron en el lote no tratado, mientras que sólo 8 se dañaron en el que recibió las algas (Surey-Gent y Morris, 1987).

Los compuestos conocidos para obtener una fuerte respuesta fisiológica en bajas dosis son las hormonas y betainas y se les llama «reguladores del crecimiento de plantas» (RCPs). Debido a que las tasas de aplicación de algas son bajas, se ha postulado que la presencia de RCPs endógenos en productos comerciales juega un papel significativo en lo que a efectos benéficos respecta. Las auxinas (hormona vegetal elaborada por los meristemas de crecimiento) son conocidas en muchas algas marinas, pero su actividad en los productos comerciales de algas es baja. El ácido indol B-acético (AJA) ($C_{10}H_9O_2N$), un derivado del triptófano (aminoácido), es una heteroauxina y se han identificado posibles compuestos afines. También se ha registrado la presencia de giberelina (hormona de crecimiento, que favorece la mitosis y el crecimiento en longitud de las células) y al menos dos compuestos han sido descubiertos: GA3 y la GA7; aunque éstos pueden ser las vitaminas A1 y A4. Usando el espectrofotómetro de masa de dilución de isótopo estable, Tay *et al.* (1985, 1987) identificaron y cuantificaron varias citoquininas en un extracto de alga (Seanol), incluyendo la trans-zeatina, trans-zeatina ribósido (=ribonucleósido= unión de una base nitrogenada y la ribosa) y sus dehidroderivados isopenteniladennina, isopentenil adenosina y un número de citoquininas glucósidas. No hay duda de que los productos de algas marinas poseen y continúan aportando nuevas citoquininas (Metting *et al.*; 1990).

Las principales respuestas fisiológicas a las citoquininas, (Tabla 7) muy importantes en el mejoramiento de una cosecha son las obtenidas en la síntesis de proteínas y división celular, en la movilización de los nutrientes y repartición de éstos, retardo del envejecimiento e inhibición de las infecciones fúngicas (Metting *et al.*; 1990). Muchas de las respuestas observadas con el uso de los extractos de algas pueden ser explicados por las actividades de estas citoquininas o de compuestos con una actividad parecida. También se ha demostrado que la aplicación de algas en las plantas incrementa el contenido de clorofila, masa vegetal y la superficie foliar (Whapham *et al.*; 1993). Una respuesta similar se obtuvo al aplicar una citoquinina sintética, la benziladenina, en las hojas de una planta, cuando se comparaban los resultados con los de extractos de algas.

Uno de los efectos más pronunciados de estas aplicaciones de algas es el desarrollo vigoroso que experimenta el sistema radicular, el cual frecuentemente se expresa en una cosecha más alta. Se ha demostrado que la aplicación de bajas cantidades de concentrado de alga en la raíz del tomate, estimuló el crecimiento de ésta en todo sentido, un efecto que fue imitado por la zeatina (citoquinina) en concentraciones por debajo de 10^{-7} M. Este efecto estimulador se perdió cuando el extracto fue incinerado, lo que equivale a decir que la acción reguladora estaba asociada a una fracción orgánica. También se demostró que cuando se usó altas concentraciones, ya sea de zeatina o del concentrado de alga, el crecimiento de la raíz se inhibió (Metting *et al.* 1990).

Ha quedado ampliamente probado que las plantas que reciben nutrición mineral proveniente de algas, mejora la cosecha (Metting, *et al.*, 1990). Se esperaría que un aumento en el sistema radicular fuera importante para la absorción de los nutrientes, pero se han sugerido otros mecanismos. Algunas investigaciones han llevado a ciertos autores a proponer que determinados constituyentes de las algas juegan un papel en la quelación de metales para dar complejos solubles y por lo tanto, se incrementa la absorción de elementos trazas en las plantas. Por ejemplo, las hojas de tomate tratadas con harinas y extractos de algas, contenían más Mn que la presente en la misma alga (Frankki, 1960a y b). En otro caso, cuando se adicionó extractos de algas a soluciones deficientes en minerales que eran usadas en cultivos de pepinos, éstos mostraron un mejoramiento en la utilización de B, Cu, Mn y Zn (Lynn, 1972).

Se ha registrado una mayor disponibilidad de N, P y Fe en plantas tratadas con algas. La habilidad de quelación de los productos algales posiblemente puede atribuirse a las propiedades de intercambio iónico de los constituyentes polisacáridos. Por ejemplo, los ficocoloides de las algas pardas, como los alginatos, los cuales están compuestos de los ácidos D-manurónico y L-glucurónico, son capaces de combinarse con trazas de minerales incluyendo Fe, Co, Cu, Mn y Zn (Mykelstad, 1968).

También se ha comprobado que la aplicación de productos comerciales de algas en plantas incrementa el tamaño del fruto y cosecha de



Tabla 7. Citoquininas en preparaciones comerciales de macroalgas (PC: Papel cromatográfico; HPLC: Cromatografía líquida de alto rendimiento; GLC: Cromatografía de gas líquida; MS: Espectroscopia de masas; MNR: Resonancia magnética nuclear protónica, (ver Metting *et al.*: 1990)

Preparación comercial de la macroalga	Detección de la actividad y citoquininas como compuestos	Bioensayo	Métodos Fitoquímicos				
			PC	HPLC	GLC	MS	M
Sea Magic (S.M.3.)	Indicación de que le extracto comercial acuoso de la macroalga contiene compuestos de una citoquinina natural	a. Promovió el crecimiento <i>in vitro</i> del tejido de zanahoria en un medio libre de citoquinina. b. Examinación del crecimiento estimulando la actividad sobre una citoquinina de <i>Atropa belladonna</i> . c. Bioensayo en hojas de rábano.					
Kelpak 66 <i>Ecklonia maxima</i>	Actividad de citoquininas cromatografiadas con zeatina y ribosilzeatina.	Bioensayo en soya	*				
SEASOL <i>Durviella potatorum</i>	Zeatina-o-glucosídica; dehidrozeatina-o-glucosídica; dehidrozeatina ribosido-o-glucosídica; ribosido zeatina-o-glucosídica.	Bioensayo en soya		*	*	*	*
Maxicrop	Clara identificación de zeatina, dehidrozeatina, isopentenil adenina e isopentenil adenosina. Detección de citoquininas glucosidasas.	Bioensayo en tabaco		*			*
Maxicrop Seamac Alginox S.M3.	Identificación de las siguientes betainas: Glicinebetaina; ácido betaínico y aminobutírico; ácido betaínico α -aminovalérico.	Ensayos microbiológicos basados en la cuantificación del crecimiento de <i>Klebsiella pneumoniae</i>		*			*

semillas (Metting *et al.*, 1990). Los concentrados de algas en el frijol producen un fruto mucho más grande que los de las plantas control. Además, éste fruto tratado con algas, mostró mayores niveles de citoquininas, indicando, ya sea un incremento en translocación de citoquininas de la raíz, o de los brotes, o producción de los mismos frutos.

A pesar del valor del contenido de citoquininas en los extractos algales, los niveles observados no son lo suficientemente grandes para producir todos los efectos beneficiosos de los extractos. Blunden *et al.*; (1984) encontraron importantes discrepancias en los contenidos de citoquininas de varios extractos algales cuando realizaron bioensayos por medio de diferentes métodos y concluyeron que ellos presentan otros compuestos bioactivos. Whapham *et al.*; (1993) descubrieron que las betainas (alcaloides) del alga parda *Ascophyllum nodosum* produjeron en plantas de tomates un incremento sorprendente en la clorofila y aumento en el tamaño de las hojas. Estos compuestos podrían muy bien ser las sustancias bioactivas de las que sospechaban Blunden *et al.*; (1984).

Otros efectos, no atribuibles a las citoquininas, incluyen la intensificación de la eficiencia de algunos herbicidas y fertilizantes e incremento del desarrollo del tallo y subsecuente cosecha de trigo. Erasmus *et al.*; (1982) investigaron el efecto de un extracto algal sobre la absorción foliar del marcado radiactivamente MCP A (2-metil-ácido 4-clorofenoxiacético). El extracto aplicado, aparentemente promovió la absorción del herbicida en plantas de hojas angostas (*v.gr.* trigo) mientras que en plantas de hojas anchas (*v.gr.* frijol) la absorción no fue inhibida.

ESTANDARIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

Los efectos producidos como un resultado del uso de las algas como fertilizantes varían considerablemente con la cantidad y el momento de la aplicación. Sin embargo, debido a que los niveles de hormonas fluctúan, un procedimiento simple y confiable sería el de realizar análisis rutinarios de los extractos, lo cual es un problema primario. Estas variaciones suelen ser atribuidas a ciertos factores: 1) época en que las plantas fueron recolectadas; 2) estado de desarrollo del alga; 3)

período lunar en el cual se llevó a cabo la recolección; 4) variación en la actividad de los niveles de RCPs; y 5) localidad. Por ejemplo, se han observado fluctuaciones en los niveles de citoquininas en *Sargassum heterophyllum* (Mooney y van Staden, 1984a,b) y en *Ecklonia maxima* (Featonby-Smith y van Staden, 1984). Las respuestas de las cosechas a tratamientos con algas, varían considerablemente con el método, tiempo, frecuencia y modo de aplicación. De ahí que sea obvio que estos factores se tengan en cuenta cuando se hace uso de estos productos.

Por razones de transporte, el uso de algas directamente como abono se limita necesariamente a las zonas costeras o próximas a ellas, pero con la introducción de los productos líquidos y en harinas, el uso de estas plantas como fertilizantes ha adquirido mayor difusión. En el Reino Unido, los productos de algas han tenido un gran desarrollo y rápido crecimiento. Sus usos en la jardinería, horticultura y agricultura han tenido gran demanda y se cree que es el principal productor en el mundo. No hay duda de que este sector de la industria de abonos a partir de algas, ofrezca posibilidades para una ulterior expansión (Naylor, 1976).

OBSERVACIONES PRELIMINARES DEL SARGASSUM FLOTANTE EN EL ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA Y SU USO POTENCIAL COMO ABONO

Las especies del género *Sargassum* han sido utilizadas como fertilizantes en los cultivos del maní, papa, coco y café en China (Bula-Meyer, 1988). En la India es un recurso de algina. Son excelentes fuentes de elementos trazas como el Fe, Co, Mn, B y Zn y medianamente de biogás, 60-70% de metano (Flowers y Bird, 1990).

Este género de alga parda pertenece a la división Phaeophyta, orden Fucales, familia Sargassaceae. Es la macroalga más grande de las zonas tropicales, alcanzando hasta 7-8 m de altura cuando vive fija. El género tiene aproximadamente 450 especies, distribuidas en todos los mares desde los trópicos hasta las zonas templadas. Con excepción de *S. natans* Meyen y *S. fluitans* Borgesen del

mar de los Sargazos en el Atlántico norte (Fig. 1), el resto de especies viven fijadas a la roca por medio de un agarre discoide. Su capacidad flotadora se debe a las vesículas que posee. Mientras todas las especies que viven fijadas tienen reproducción sexual, las dos formas planctónicas de *Sargassum* carecen de ella y sólo se reproducen vegetativamente, o sea por fragmentación del talo.

Sargassum jlivitans y *S. natans* se les encuentran a la deriva en el mar de los Sargazos, el cual se localiza entre las Antillas y la costa noroeste de África entre los 20 y 35° N (Fig. 1). Este mar es simplemente un gran remolino de contorno elíptico, limitado por un sistema de corrientes circulares. Al sur por la corriente Norecuatorial, la cual al llegar a la costa este de Florida, toma este nombre (corriente de Florida). Luego continúa como la corriente del Golfo y se despega del continente en cabo Hatteras para juntarse más adelante con la corriente del Labrador y llegar a Europa como la corriente del Atlántico Norte. Una parte de esta corriente defleca hacia el sur y toma el nombre de corriente de las Canarias. Sus límites son variables porque éstos dependen de la circulación marina la cual fluctúa estacionalmente. Se ha estimado que este mar tiene un área de aproximadamente 5 millones de km² y que las cantidades de *Sargassum* flotante pueden estar entre 4 y 11 millones de

toneladas (Parr, 1939; Michanek, 1975), la mayor biomasa vegetal del mundo marino.

El *Sargassum* pelágico tiene varias rutas al entrar al Caribe, siendo una de éstas al norte de las Antillas Menores. Está llegando permanentemente al archipiélago de San Andrés y Providencia pero en mayores cantidades en las estaciones secas del año, es decir cuando los alisios están en mayor auge (enero-abril y julio-agosto). Viaja en masas flotantes de cientos de metros cuadrados y de hasta 2-3 m de espesor, con una diversidad de animales asociados a esta particular vegetación. Este *Sargassum* que llega al Caribe, es generalmente fresco, saludable, vigoroso y no se observa mortalidad. Los epibiontes son escasos o ninguno lo que indica de su buen estado.

RECOMENDACIONES

Se propone aquí para un futuro inmediato la realización de un proyecto que contemple; (1) un análisis químico completo de este *Sargassum*. (2) estimar su abundancia estacional, la que arriba a las islas y la que pasa frente a ellas en varios kilómetros, siguiendo el rumbo de las corrientes Caribe; y (3) producción de varios tipos de abonos como harina polvo y extracto líquido para realizar ensayos agronómicos con plantas de valor económico.



Figura 1. Ubicación del Mar de los Sargazos.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece los comentarios hechos por Sara Newball a este artículo y a Martha Díaz por la elaboración de las tablas. A Reinhardt Schnetter por el envío de unos artículos.

LITERATURA CITADA

- Aitken, J.B. y T.L. Senn. 1965. Seaweed products as a fertilizer and soil conditioner for horticultural crops. *Bot. Marina*, 8: 144-148.
- Blunden, G., D.J. Rogers y C.L. Barwell. 1984. Biologically active compounds from the British marine algae. En: *Natural products and drug development* (Ed. por C.P. Krogsgaard-Larsen, S. Brogger-Christense y H. Kofod), 20: 179-190. Alfred Benzon- Symp; Munksgaard, Copenhagen.
- Bula-Meyer, G.A. 1988. Cultivos y utilización comerciales de las macroalgas marinas. *Rev. Ing. Pesq.* (Santa Marta), 6: 1-57.
- Burkholder, P. R., L.M. Burkholder y L. R Almodovar. 1971. Nutritive constituents of some Caribbean marine algae. *Bot. Marina*, 14: 132-135.
- Erasmus, D.J; W.R Nelson y J. van Staden. 1982. Combined use of a selective herbicide and seaweed concentrate. *S. Afr. J. Sci.*, 78: 423-424.
- Featonby-Smith, B.C. y J. van Staden. 1984. Identification and seasonal variation of endogenous cytokinins in *Ecklonia maxima* (Osbeck) Papenf. *Bot. Marina*, 27: 524-531.
- Flowers, A. y K. Bird. 1990. Methane production from Seaweeds. En: *Introduction to Applied Phycology* (Ed. por I. Akatsuka), pp. SPB Academic Publishing, The Hague.
- Francki, R.I.B. 1960a. Manurial value of seaweeds: I. Effects of *Pachymenia himantophora* and *Durviella antarctica* meals on plant growth. *Pl. & Soi*, 12: 297-310.
- 1960b. Studies in manurial value of seaweeds: II. Effects of *Pachymenia himantophora* and *Durviella antarctica* on the immobilization of nitrogen. *Pl. & Soi*, 12: 311-323.
- Kim, D.H. 1970. Economically Important Sea weeds, in Chile-I. *Gracilaria*. *Bot. Marina*, 13: 140-162.
- Lynn, L.B. 1972. The chelating properties of seaweed extract *Ascophyllum nodosum* vs. *Macrocystis pyrifera* on the mineral nutrition of sweet peppers, *Capsicum annum*. M. S. Thesis, Clemson University, Clemson, South Carolina. (no vista)
- Meier, F. 1942. Useful algae. *Smithsonian Rep.*, 3667: 401-452.
- Metting, B., W.J. Zimmerman, I. Crouch y J. van Staden. 1990. Agronomic uses of seaweed and microalgae. En: *Introduction to Applied Phycology* (Ed. por I. Akatsuka), pp. 589-627. SPB Academic Publishing, The Hague.
- Michanek, G. 1975. Seaweed resources of the ocean. *FAO Fish. Circ.*, 138: 127 pp.
- Mykelstad, S. 1968. Ion-exchange properties of brown algae. I. Determination of ratio mechanism for calcium-hydrogen ion exchange for particles for *Laminaria hyperborea* and *Laminaria digitata*. *J. Appl. Chem.*, 18: 30-36.
- Mooney, P.A. y J. van Staden. 1984a. Lunar periodicity of the levels of cytokinins in *Sargassum heterophyllum* (Phaeophyceae). *Bot. Marina*, 27: 467-472.
- 1984b. Seasonal changes in the levels of endogenous cytokinins in *Sargassum heterophyllum* (Phaeophyceae). *Bot. Marina*, 27: 437-442.
- Naylor, J. 1976. Producción, comercio y utilización de algas y productos derivados. *Doc. Téc. F AO Pesca*, 159: v+ 73 pp.
- Parr, A.E. 1939. Quantitative observations on the pelagic *Sargassum* vegetation off the western north Atlantic. *Bull. Bingham Oceanog. Coll*; 6(7): 1-94.
- Quastel, J.H. y D.M. Webley. 1947. The effects of addition to soil of alginic acid and of other forms of organic matter on soil aeration. *J. Agric. Sci.* 37: 257-266.
- Senn, T.L. 1987. *Seaweed and plant growth*. Faith printing Co; Taylor, South Carolina. 166 pp.
- Stephenson, W.A. 1974. *Seaweed in agriculture and horticulture*. Bargyla and Glyver Rateaver, Pauma Valley, California. 241 pp.
- Surey-Gent, S. y G. Morris. 1987. *Seaweed: A User's Guide*. Whitter Books Ltd, London. 160 pp.
- Tay, S.AB; J.K. Macleod, L.M.S. Palni y D.S. Letham. 1985. Detection of cytokinins in a seawater extract. *Phytochemistry*, 24: 2611-2614.
- Tay, S.A.B; L.M.S. Palni y J.K. Macleod. 1987. Identification of cytokinin glucosides in a seaweed extract. *J. Pl. Growth Regul*; 5: 133-138.
- Whapham, C.A; G. Blunden, T. Jenkins y S.D. Hankins. 1993. Significance of betaines in the increased chlorophyll content of plants treated with seaweed extract. *J. Appl. Phycol*; 5: 231-234.

