



UNIVERSITAT DE
BARCELONA



Campus
de l'Alimentació
Universitat de Barcelona

Universitat de Barcelona
Facultat de Farmàcia i Ciències de l'Alimentació
Treball de Fi de Grau

VALOR I COMPOSICIÓ NUTRICIONAL DE LES ALGUES

Clara Egea Jiménez
Treball d'aprofundiment
Departament de Nutrició, Ciències de l'Alimentació i Gastronomia
Convocatòria Juny 2021



Aquesta obra està subjecta a una llicència [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Valor i composició nutricional de les algues

Clara Egea Jiménez ¹¹ Universitat de Barcelona; cegea1999@gmail.com

* Correspondence: cegea1999@gmail.com

Resum: El consum d'algues s'ha incrementat durant aquests últims anys. Aquestes es poden classificar per la seva grandària en micro i macroalgues. Però, quin és el valor nutricional d'aquestes? Són segures per al consumidor? Per contestar aquestes preguntes aquest article de revisió ha estat basat principalment en articles científics recents cercats a diferents bases com PubMed o Scopus. Tant les microalgues com les macroalgues es componen majoritàriament de carbohidrats, seguit de proteïnes, lípids, minerals i vitamines. En general destaquen pel seu contingut en polisacàrids complexos, àcids grassos poliinsaturats com EPA i DHA, una composició d'aminoàcids similar a la de l'ou i la soja, múltiples vitamines, com ara provitamines A i B₁₂ i minerals entre ells sodi, potassi, ferro i iode. Aquesta composició nutricional és la que les ha posat en valor al mercat, com a suplementes d'EPA, DHA o vitamina B₁₂. També pels seus beneficis com antioxidants, propietats antivirals, anticancerígenes i anticoagulants, entre altres. Ara bé, cal tenir en compte la possible acumulació de tòxics, com metalls pesants, plaguicides o un excés de iode que es podria produir pel seu consum.

Abstract: The consumption of seaweed has increased in recent years. They can be classified according to their size into micro and macroalgae. But what is the nutritional value of these? Are they safe for the consumer? In order to answer these questions, this review article has been based mainly on recent scientific articles searched in different databases such as PubMed or Scopus. Both microalgae and macroalgae are mainly composed of carbohydrates, followed by proteins, lipids, minerals, and vitamins. In general, they are notable for their content of complex polysaccharides, polyunsaturated fatty acids such as EPA and DHA, an amino acid composition similar to eggs and soya, multiple vitamins, such as pro-vitamin A and B₁₂, and minerals including sodium, potassium, iron and iodine. It is this nutritional composition that has placed them on the market as supplements for EPA, DHA and vitamin B₁₂. Also, for their benefits as antioxidants, antiviral, anticancer and anticoagulant properties, among others. However, it is important to consider the possible accumulation of toxins, such as heavy metals, pesticides or an excess of iodine that could be produced by its consumption.

Citation: Egea C. Valor i composició nutricional de les algues. *Foods* 2021, 10, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>

Academic Editor: Clara Egea

Received: -

Accepted: -

Published: -

Paraules clau: alga; valor nutricional; composició; micronutrients; macronutrients; consum humà; macroalgues; microalgues; toxicitat; sostenibilitat

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducció

Les algues són organismes fotosintètics complexos. Poden ser classificades de múltiples formes, per exemple en funció de la seva grandària, trobant dos grans grups: les microalgues, que inclouen procariotes i eucariotes i les macroalgues, totes eucariotes [1,2].

Taula 1. Classificació de les algues [2]

41

Grup	Subgrup	Característiques
Microalgues	Diatomees	Unicel·lulars amb un o dos flagels Parets de silici molt resistents
	Dinoflagel·lats	Flagel·lats Part del plàncton marítim
	Cianobacteris	Algues verd-blaves Unicel·lulars o colonials
Macroalgues	Rodòfits (Rhodophyta)	Algues vermelles Quasi totes són marines
	Feòfits (Phaeophyta)	Algues brunes Quasi totes són marines
	Cloròfits (Chlorophyta)	Algues verdes Unicel·lulars o pluricel·lulars La majoria són d'aigua dolça

Les microalgues són un gran grup d'organismes microscòpics que inclou diatomees, dinoflagel·lats i cianobacteris; són majoritàriament organismes unicel·lulars i molts formen part del plàncton. Els cianobacteris o algues blaves formen part del domini bacteria (procarïota) però són majoritàriament considerades microalgues [2,3].

Quant al grup de les macroalgues, trobem tres subgrups coneguts popularment com a algues vermelles (Rhodophyta), algues brunes (Phaeophyta) i algues verdes (Chlorophyta). Aquestes es diferencien, entre altres trets, pel color de l'estípit. En la Figura 1, es pot observar l'estructura de les algues macroscòpiques, les quals consten de rizoide, estípit i làmina. Els diversos grups de macroalgues també es diferencien per la composició nutricional, la qual es descriurà més endavant [2].

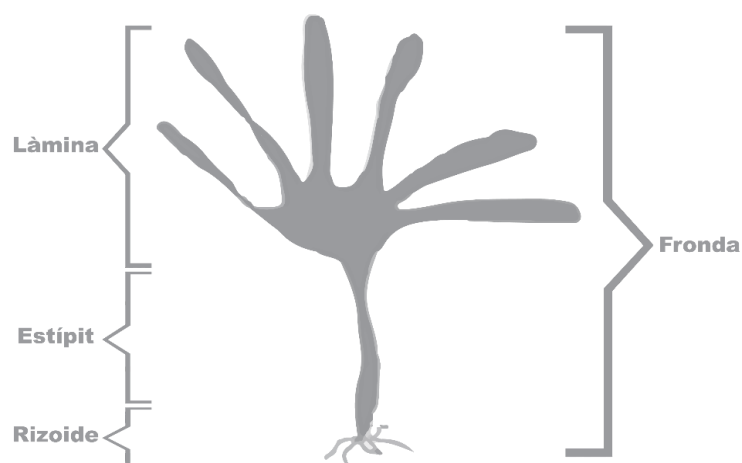


Figura 1. Morfologia de les macroalgues [2]

Actualment a Espanya les macroalgues que podem trobar en un supermercat destinades al consum humà són les del gènere *Undaria*, *Laminaria*, *Saccharina*, *Eisenia*, *Sargassum* o *Hizikia*, *Ascophyllum*, *Himanthalia*, *Duroillaea*, *Fucus*, *Porphyra*, *Palmaria*, *Chondrus*, *Gelidium* i *Ulva*. També trobem microalgues, majoritàriament del gènere *Chlorella*, *Aphanizomenon*, *Arthrospira* i *Spirulina*. La Figura 2 mostra la taxonomia de les algues anteriors i els

seus noms comuns pels quals les reconeix la majoria de la població.

59

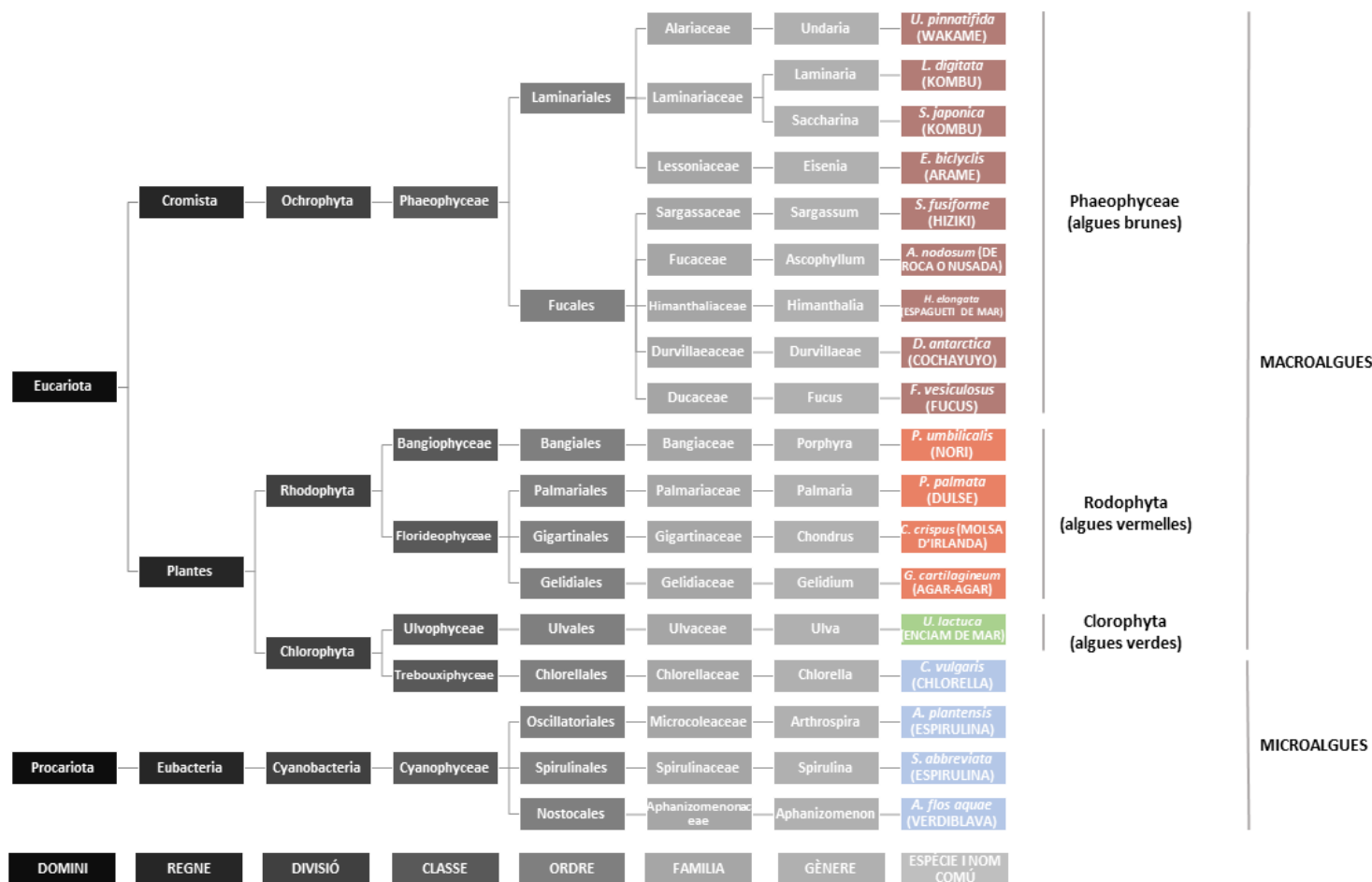


Figura 2. Taxonomia de les algues. Elaboració pròpia.

60

Les algues han sigut utilitzades tradicionalment com a aliment a països orientals com la Xina, el Japó i la República de Corea. Gràcies a la immigració de la població d'aquests països, l'ús de les algues s'ha expandit, raó per la qual avui dia podem trobar-les presents en la dieta de persones d'altres països. A més i tal com es comentarà més endavant, en el cas de moltes algues s'han relacionat diversos dels seus compostos amb efectes beneficiosos per a la salut, la qual cosa ha fet incrementar el seu interès com a aliment [4,5].

61
62
63
64
65
66

El gran augment de demanda d'algues per part de la població ha suposat que les reserves naturals silvestres no siguin suficients i com a conseqüència, la indústria s'ha encarregat de cultivar-les. Actualment és la forma que cobreix el 90% de la demanda [6].

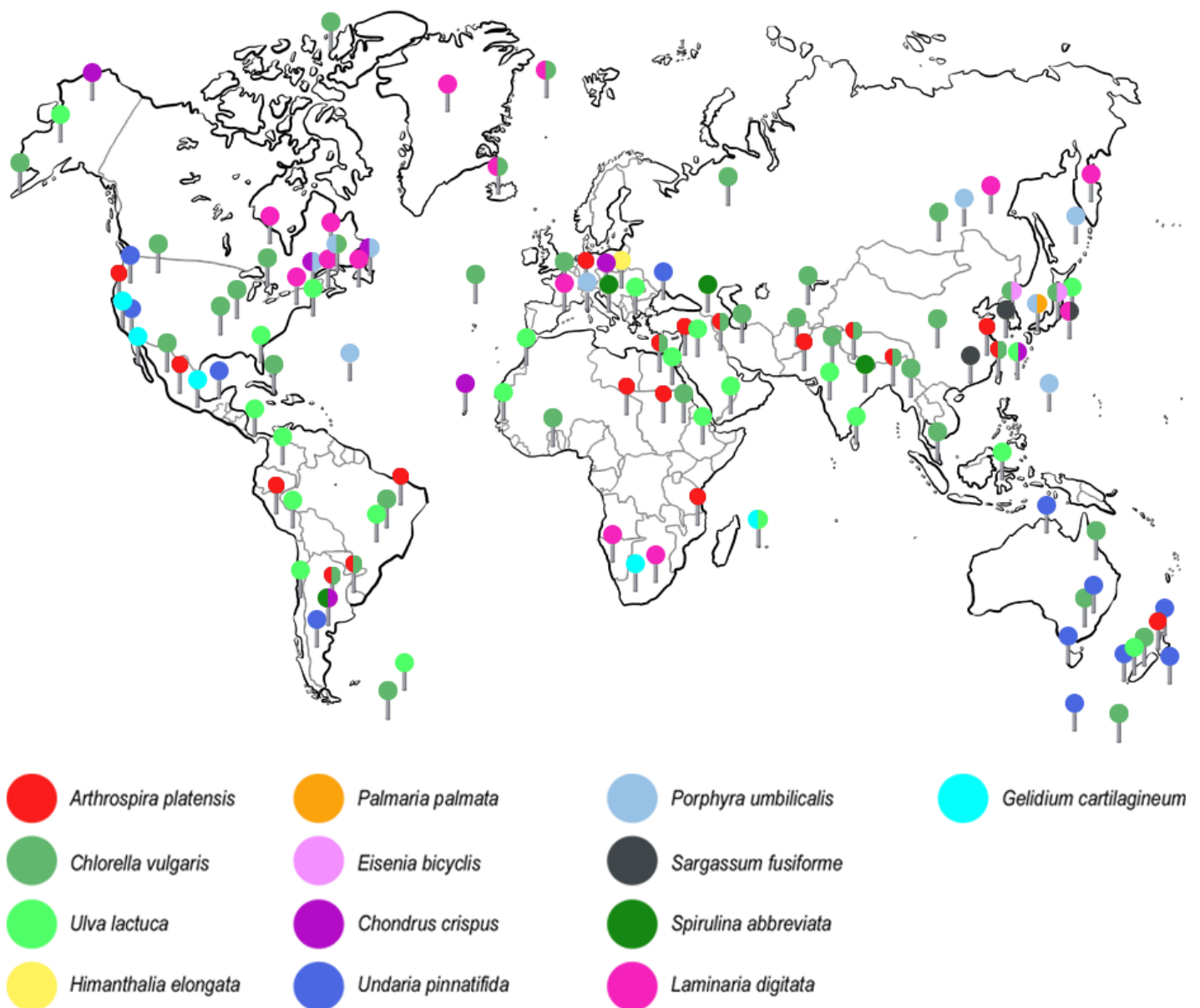
67
68
69

La Xina és el major productor d'algues comestibles, produint aproximadament 5 milions de tones l'any, essent la majoria algues *Laminaria digitata*. La República de Corea produeix anualment 800.000 tones de les quals aproximadament 400.000 tones són *Undaria pinnatifida*. El Japó produeix aproximadament unes 600.000 tones, de les quals el 75% són *Porphyra umbilicalis*, que és l'alga habitualment utilitzada per a preparar sushi. De fet, la popularització del sushi en els darrers anys ha provocat un augment del valor de l'alga nori. Cada tona seca d'alga nori costa 16.000 dòlars americans, que comparat amb el preu de la kombu (2.800 dòlars/tona) i la wakame (6.900 dòlars/tona) mostra que té un valor comercial clarament superior [6].

70
71
72
73
74
75
76
77
78

Fora d'Àsia, el major productor d'algues és Xile que al 2008 en va produir 21.700 tones, seguit d'Àfrica que en va produir 14.700 tones. En alguns països africans i asiàtics el cultiu d'algues *Spirulina* s'ha utilitzat com a suplement en nens malnodrits [7].

Tot i haver principals productors, les algues es troben per tot el món. En les figures 3a i 3b es pot observar on creixen algunes de les espècies més importants per al consum humà. En el mapamundi, es representa Europa amb totes les espècies que es poden trobar en el continent, i en la figura 3b s'especifica la zona de cada espècie.



(a)

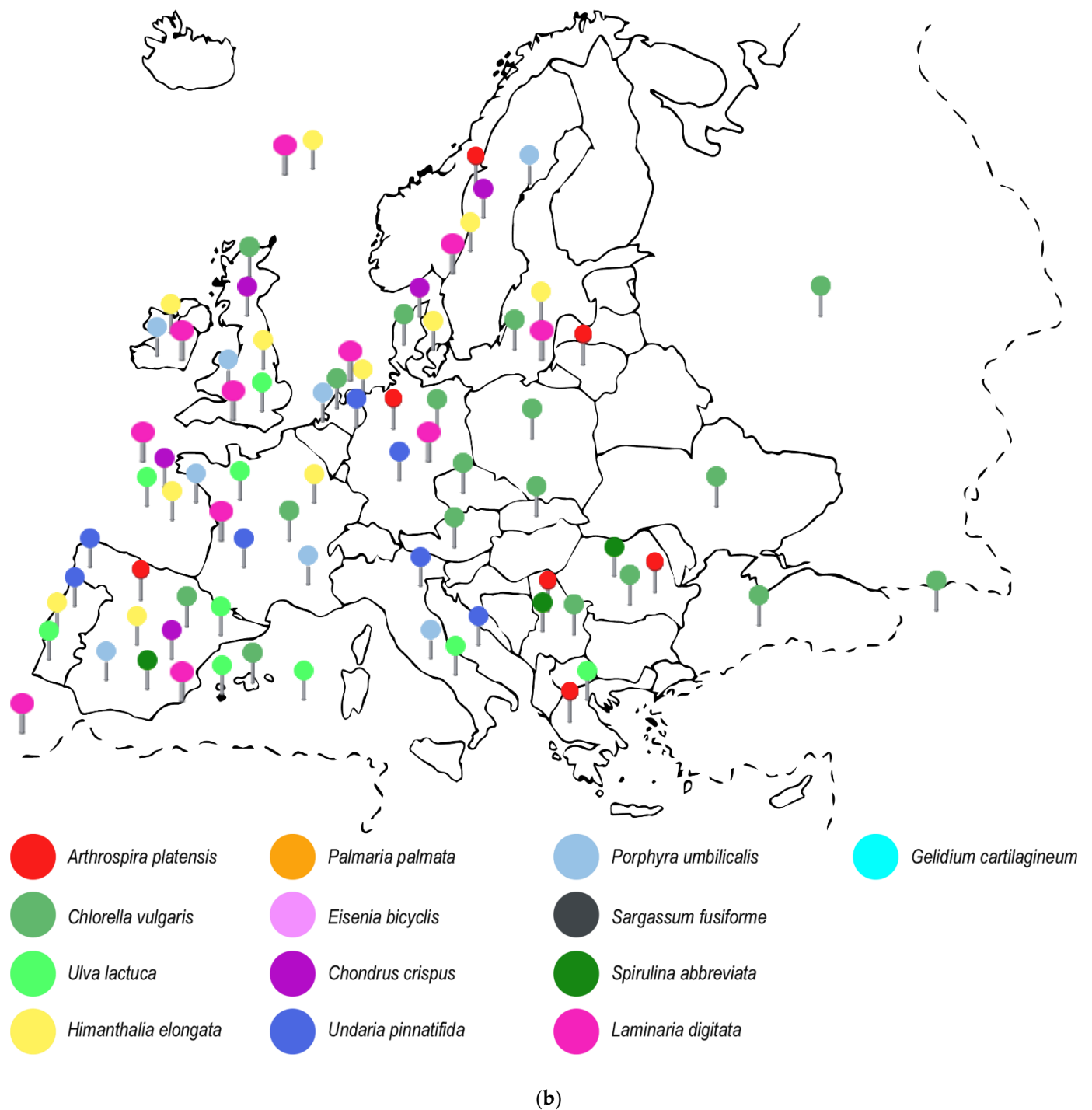


Figura 3. Distribució d'algues a nivell (a) mundial i (b) europeu. Elaboració pròpia.

L'alimentació humana és un dels usos de les algues, però no l'únic. Per exemple, un 30% de la producció d'algues es destina a l'elaboració de pinsos ja que la seva composició en aminoàcids les fa molt interessants com a alternativa a proteïnes d'origen animal, cosa que no succeeix amb moltes fonts vegetals. Les algues també tenen molta utilitat en cosmètica, on majoritàriament s'utilitza un extracte de les algues, format principalment per hidrocol·loides, com l'agar, l'alginat i el carragenan. Aquests ajuden a espessir substàncies o formar gels, per la qual cosa s'utilitzen tant en la indústria de l'alimentació com en la de la cosmètica, malgrat també es poden utilitzar com a fertilitzants, biofuels o com a possibles agents antivirals [6,8].

Les algues tenen interès com a font proteica sostenible. Molts estudis han demostrat que el consum excessiu de carn té un impacte ambiental negatiu. Per tant es considera com a dieta sostenible aquella en la qual hi ha una reducció del consum de carn. Una de les múltiples opcions d'alternativa proteica, són les algues. Parlarem amb més detall en l'apartat 3.1.3 [9].

L'objectiu principal és conèixer la composició nutricional de les espècies d'algues més utilitzades per al consum humà, per poder establir unes recomanacions del seu ús. Per assolir-lo, s'han plantejat dos subobjectius: i) avaluar la composició de macro i micronutrients de les algues utilitzades per al consum humà, ii) recopilar informació sobre la toxicitat d'un consum habitual d'aquestes algues, i iii) establir unes recomanacions de consum de les algues tenint en compte tota la informació cercada.

2. Materials i Mètodes

Aquest article bibliogràfic s'ha realitzat a través de diferents estudis de bases de dades com PubMed, SCOPUS, i Google Scholar. En el cas de PubMed i SCOPUS s'ha centrat la cerca en els articles publicats entre 2010 i 2020, i en concret a SCOPUS s'ha ordenat els articles per ordre de citació, per poder trobar els més rellevants.

En els dos casos, s'ha utilitzat els termes de cerca Mesh: "algae", "nutritional value", "human consumption". A més, en algun cas, s'han consultat llibres publicats per editorials científiques de prestigi disponibles al CRAI-UB.

Quant a temes de producció d'algues i història del consum s'ha utilitzat la pàgina web institucional FAO [4,6,7].

Per a la realització de la taxonomia i el mapa mundi s'ha utilitzat la base de dades algaebase.org, i el programa Adobe Photoshop® (Adobe Inc., San Jose, CA, EUA) per a l'elaboració de les imatges [10].

3. Resultats i discussió

3.1. Composició nutricional de les algues

Generalment les algues són riques en carbohidrats no digeribles que formen part de la fibra soluble. També contenen proteïnes, minerals i constitueixen un baix aportament calòric. La seva composició nutricional detallada dependrà de diferents factors com l'espècie, hàbitat, grau de creixement, salinitat, temperatura, intensitat de la llum, etc [2].

Taula 2 Comparació de la composició nutricional de microalgues i macroalgues [11,12,13,14]

		Carbohidrats	Proteïna	Lípids	Cendres
Microalgues	<i>Chlorella vulgaris</i>	12–17	51–58	14–22	
	<i>Arthrospira maxima</i>	13–16	60–71	6–7	4–20
	<i>Spirulina platensis</i>	8–14	46–63	4–9	
Macroalgues	Algues vermelles	36–66	8±35	1,64	7–29
	Algues brunes	35–70	8±15	0,3–4,5	14–45
	Algues verdes	15–65	10–21	0,3–1,6	11–55

Tots els valors representen el % respecte del pes sec d'alga.

A continuació s'especifica el contingut i tipus de macronutrients (carbohidrats, proteïnes, lípids) i micronutrients (vitamines i minerals) de les macro i microalgues.	130 131
3.1.1. Carbohidrats	132
En les microalgues els carbohidrats tenen funcions tant estructurals com metabòliques i es poden trobar units a proteïnes o lípids (glicoproteïnes o glicolípid). Generalment els polisacàrids complexos formen la paret cel·lular tenint una funció estructural, mentre que la glucosa i el midó són utilitzats per a la obtenció i magatzem energètic. Els cianobacteris sintetitzen glicogen (α -1,4 glucà). Les diatomees també produeixen un altre polisacàrid de reserva, la crisolamirina. Aquest és un polímer lineal de β -1,3 i β -1,6 unitats de glucosa; algunes diatomees poden arribar a acumular fins el 80% del seu pes sec en períodes de forta limitació de nutrients [1,3].	133 134 135 136 137 138 139 140
Tot i que majoritàriament les microalgues són riques en polisacàrids, també contenen monosacàrids com l'arabinosa, xilosa, manosa, galactosa i glucosa i en menor proporció trobem els següents carbohidrats: ramnosa, fucosa i àcids urònics [3].	141 142 143
Les microalgues poden arribar a acumular una concentració de carbohidrats superior al 50% del pes sec. El contingut en cada tipus de microalga depèn de la font de carboni i del tipus de metabolisme (autòtrof, heteròtrof o mixòtrof) que tingui l'alga; per tant, depèn del gènere. En algunes espècies com ara <i>Porphyridium cruentum</i> o <i>Spirogyra sp.</i> el contingut de carbohidrats és elevat (40-57% i 33-64%, respectivament). A més, s'ha vist que aquest es pot modular a través de factors com la disponibilitat o limitació de nutrients, concentració salina, intensitat lumínica i temperatura [1,3].	144 145 146 147 148 149 150
Pel que fa a les macroalgues , es diferencien per la composició de polisacàrids estructurals que es troben en la paret cel·lular i en la reserva de les cèl·lules. La major part d'aquests són considerats com a fibra, ja que no són digerits pels enzims dels humans però sí pels enzims dels bacteris del còlon [15].	151 152 153 154
Les macroalgues contenen polisacàrids específics, tant estructurals com de reserva, que no estan presents en altres vegetals terrestres, essent uns d'ells els alginats. Aquests polisacàrids són polímers de sucres units per enllaços O-glicosídics i tenen aplicacions comercials com a estabilitzants, emulsionants, espessidors, etc. [16].	155 156 157 158
En la taula 3 s'indiquen els principals polisacàrids que trobem en les macroalgues. El contingut d'aquests polisacàrids varia en funció de l'estació de l'any i dels canvis ambientals [17].	159 160 161
Taula 3 Principals polisacàrids en les macroalgues i composició dels mateixos [11,16,18]	162

	Fibra soluble	Fibra insoluble
Algues brunes	<u>Laminarans</u> Polisacàrids lineals formats la unió de (1,3)- β -glucosa i (1,6)- β -glucosa <u>Alginats</u> Polisacàrids lineals formats per la unió dels monosacàrids β (1,4)-àcid manurònic i (1,4)- àcid gularònic <u>Fucans/Fucoidans/Furans</u> Polisacàrids formats majoritàriament per L-fucosa sulfatada unida amb enllaços α -1,2.	<u>Cel·lulosa</u> Polisacàrids lineals formats per unitats de β -(1,4) glucosa

Algues vermelles	<u>Agar-agar</u> Polisacàrids sense ramificacions formats per una barreja de dos polisacàrids, l'agaropectina i l'agarosa.	<u>Cel·lulosa</u> Polisacàrids lineals formats per unitats de β-(1,4) glucosa
	<u>Carragenans</u> Polisacàrids lineals formats pels monosacàrids D-galactosa i (3,6)-anhidro-L-galactosa sulfat.	<u>Xilans</u> Polímers de xilosa amb ramificacions de xilosa, arabinosa, glucosa, galactosa i àcids urònics
Algues verdes	<u>Ulvans</u> Polisacàrids sulfatats formats pels monosacàrids ramnosa i xilosa i per àcids urònics.	
	<u>Galactans sulfatats</u> Polisacàrids lineals sulfatats formats per la unió de galactoses.	

El contingut de fibra dietètica, en general, pot variar entre el 33,5 i 64% del pes sec. En la taula 4 es pot observar el contingut de fibra de diferents macroalgues i la proporció de fibra soluble i insoluble d'aquestes. Les algues amb un contingut superior de fibra són de les espècies *Ascophyllum nodosum* i *Himanthalia elongata*. En macroalgues verdes i vermelles, un 52-56% de la fibra total sol ser fibra soluble, en canvi en macroalgues brunes és superior, entre un 67 i un 85%. Durant la digestió, la majoria d'aquesta fibra soluble sol ser fermentada per la microbiota i convertida en àcids grassos de cadena curta (AGCC) com l'acetat, propionat i butirat. Aquests AGCC tenen efectes beneficiosos per l'ésser humà ja que intervenen en la regulació de l'homeòstasi i la funció immune, en la modificació de la microbiota del còlon, tenen un efecte prebiòtic i també disminueixen el risc de patir diabetis, hipertensió i malalties cardiovasculars [11,17,19].

Taula 4 Contingut de fibra de les macroalgues [11]

Macroalga	Contingut total de polisacàrids	Fibra total	Fibra soluble	Fibra insoluble
Algues vermelles				
• <i>Porphyra</i>	18-76	35-49	18	17-31*
• <i>Palmaria</i>	38-74	-	-	-
• <i>Chondrus</i>	55-66	-	-	-
Algues brunes				
• <i>Ascophyllum</i>	42-70	40-42,6*	38	2-4,6
• <i>Laminaria i Saccharina</i>	38-61	36	27-31,5*	4,5-9
• <i>Undaria</i>	35-45	35-46	30	5-16*
• <i>Sargassum</i>	4-68	49-62	33	16-29*
Algues verdes				
• <i>Ulva</i>	15-65	38	21	9

Els valors amb * són calculats sumant o restant la fibra soluble i insoluble de la fibra total. Els valors amb – no són disponibles. Tots els valors representen el % del pes sec d'alga.

La Societat Espanyola de Nutrició Comunitària (SENC) recomana tenir una ingesta diària de 25- 30g de fibra. Una amanida d'algues equival aproximadament a una ració de 8g d'algues, amb aquesta quantitat cobriríem aproximadament el 12,5% de les necessitats de fibra diàries. Ara bé, en el cas del sushi, difícilment arribarem a consumir 8g. Considerant

una ingesta d'unes 8 peces, estariem consumint 4,5g d'alga, el que equivaldria a 1,9g de fibra i per tant estariem cobrint el 7,6% de les nostres necessitats diàries [20,21].	181 182
La fibra dietètica de les algues brunes està formada per diferents tipus de compostos: laminarans, alginats, fucans i cel·lulosa (Taula 3). Els alginats, fucans i la cel·lulosa formen la paret cel·lular, en canvi els laminarans realitzen una funció de polisacàrids de reserva [18].	183 184 185 186
El contingut de fibra alimentària de les algues vermelles inclou galactans sulfatats, com són els carragenans, l'agar-agar i en menor quantitat xilans, manans i cel·lulosa. El polisacàrid de reserva d'aquestes algues és el midó tipus floridean (híbrid de midó i glicogen) (Taula 3) [1,3,18].	187 188 189 190
Les algues verdes contenen midó, cel·lulosa, xilans, manans i polisacàrids iònics amb grups sulfats i àcids urànics. En aquest grup d'algues també podem trobar ramanosa, xilosa, galactosa i arabinosa (Taula 3) [18].	191 192 193
Els polisacàrids amb major interès per a la indústria i per al consum humà són aquells presents a les algues brunes i vermelles, i que es detallen a continuació.	194 195
<ul style="list-style-type: none"> • Laminarans; 	196
Els laminarans són els polisacàrids de reserva predominants en algues brunes i es troben en espècies de l'ordre de les Laminaries (<i>Laminaria</i> i <i>Undaria</i>) i les Fucales (<i>Fucus</i> i <i>Ascophyllum</i>), i poden arribar fins a un 36% del pes sec. La concentració i composició d'aquest polisacàrid també depèn de l'estació de l'any: els valors màxims s'obtenen en la tardor i els mínims o quasi nuls de febrer a juny [11].	197 198 199 200 201
Aquest polisacàrid s'utilitza com a substrat pels bacteris del còlon, tenint un efecte prebiòtic. També s'ha observat que és un possible potenciador d'activitat anticoagulant, antitumoral en ratolins i capaç de reduir el colesterol en sang. El mecanisme a través del qual els laminarans són capaços de disminuir el colesterol en sang és a través de la inhibició de l'absorció en l'intestí prim i l'increment de l'excreció a través de la femta [18,22,23].	202 203 204 205 206
<ul style="list-style-type: none"> • Alginats; 	207
L'alginat és el polisacàrid estructural predominant en algues brunes i no es troba en vegetals terrestres. S'extrau d'espècies com <i>Ascophyllum nodosum</i> , <i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Fucus vesiculosus</i> , <i>Laminaria spp</i> , <i>Sargassum spp</i> , etc. en les que pot arribar a representar un 14-40% del pes sec. Els valors màxims s'obtenen durant la primavera i els valors mínims durant la tardor [11,17].	208 209 210 211 212
Els alginats tenen efectes beneficiosos ja que absorbeixen toxines, disminueixen l'absorció de colesterol, alteren la microbiota del còlon, generen AGCC i afavoreixen la sensació de sacietat. També s'han relacionat amb la possible prevenció del càncer de còlon; fet que s'ha atribuït a que els alginats augmenten la massa fecal a través de la retenció d'aigua i disminueixen el temps de trànsit intestinal [17,20,24].	213 214 215 216 217
<ul style="list-style-type: none"> • Fucans/Fucoidans/Furans; 	218
Els fucoidans són uns polisacàrids sulfatats que es troben principalment en les algues brunes. Aquest polisacàrid es troba en les espècies <i>Cladosiphon okamuranus</i> , <i>Saccharina japonica</i> , <i>Undaria pinnatifida</i> i <i>Fucus vesiculosus</i> . L'estructura dels fucoidans varia en funció de la espècie d'alga i també pot ser modificada per les variables ambientals afectant a la bioactivitat d'aquest compost [11,17].	219 220 221 222 223

Actualment tenen molt d'interès pels possibles efectes beneficiosos que se'ls ha atribuït. Alguns dels efectes que s'han observat són una activitat anticoagulant, antiinflamatòria, antioxidant, antiviral, anticancerígena, antitumoral, reducció de la producció de interleuquina 1 (IL-1), antibacteriana, etc. Un dels mecanismes a través dels quals els fucoidans són considerats antitumorals és a través de la inhibició directa del creixement de cèl·lules tumorals i la modulació de l'activitat immune amb components que intervenen en el creixement tumoral com són els limfòcits T helper (Th1) i les cèl·lules natural killer (NK) [11].

- Agar-agar;

L'agar-agar és un polisacàrid sulfatat que es diferencia dels carragenans per la presència de L-galactosa i per tenir un grau de sulfatació menor [16].

Les principals algues utilitzades per l'extracció d'agar-agar són les algues vermelles *Gelidium spp* i *Gracilaria spp*, que en poden arribar a representar un 31% del pes sec [11].

Les aplicacions d'aquest polisacàrid són semblants a les dels carragenans, ja que l'agar-agar s'utilitza en la indústria alimentària com gelificant i estabilitzant. També té aplicacions com a medi de cultiu per a bacteris, ja que es un tipus de fibra alimentària difícil de degradar inclús per als microorganismes. En l'àmbit terapèutic s'ha observat que conté capacitat per disminuir la concentració de glucosa en sang i és un potencial agent anticancerígen. També és un potencial agent antioxidant degut a que conté agaro-oligosacàrids, compost el qual s'ha demostrat que té capacitat antioxidant [11,16].

- Carragenans;

Els carragenans són uns polisacàrids sulfatats que es troben en les algues vermelles com *Chondrus crispus*, *Eucheuma cottonii*, *Kappaphycus alvarezii*, *Kappaphycus striatum*, *Gigartina skottsbergii* i *Stenogramme interrupta*. Actualment existeixen aproximadament 15 tipus de carragenans diferents que es diferencien pel grau de sulfatació, la posició dels grups sulfats i la presència de 3,6-anhidrogalactosa. Els més utilitzats són els denominats carragenans kappa, lambda i iota [11,16].

En la indústria alimentària són utilitzats com agents espesseïdors, gelificants i estabilitzants [16].

També són coneguts per iniciar o modular un gran nombre d'activitats biològiques de gran importància per a la salut de l'humà. Per exemple, a través d'estudis in vitro s'ha observat que tenen activitat antiviral i han demostrat ser potencials inhibidors de tumors i immunoestimuladors en teràpies de càncer. Recentment s'ha estudiat l'activitat antiviral per prevenir la COVID-19, malaltia provocada pel virus SARS-Cov-2. En concret s'ha estudiat l'ús del carragenan iota en un format d'esprai nasal. Aquest polisacàrid sembla que interactua amb la superfície de les partícules virals atrapant-les i provocant l'impediment de la invasió viral a l'organisme. L'estudi va demostrar que el grup placebo tenia més risc d'infeccions que el grup amb l'esprai nasal, però és requereixen més estudis per poder obtenir conclusions més sòlides [17,25,26].

- Ulvans;

Aquests polisacàrids sulfatats s'extreuen de les algues de l'ordre Ulvales que són un tipus d'algues verdes. S'ha observat que tenen propietats bioactives in vitro com activitat antibacteriana, anticoagulant, antioxidant, antiviral, antitumoral, antihiperlipèmic i efectes immunoreguladors. Per exemple, els ulvans tenen capacitat anticoagulant degut a que

contenen àcid idurònic el qual s'utilitza en la síntesi de fragments d'anàlegs d'heparina [11,17].	267 268
Degut a que la fermentació intestinal d'aquest polisacàrid sol ser lleugera no es produeix gran quantitat d'AGCC com en el cas d'altres polisacàrids [17].	269 270
Tanmateix, aquest polisacàrid pot ser ric en sulfat lliure, per tant un consum superior a 20g diaris podria tenir efectes negatius per a la salut del consumidor [17].	271 272
<ul style="list-style-type: none"> • Mannitol; 	273
El mannitol és un polialcohol, es troba present en algues brunes del gènere <i>Laminaria</i> i <i>Ecklonia</i> . Generalment suposa menys del 10% del pes sec de les algues <i>Ascophyllum nodosum</i> i <i>Laminaria hyperborea</i> . El contingut d'aquest hidrat de carboni depèn de l'estació i els canvis ambientals, en el cas de l'alga <i>Laminaria hyperborea</i> durant la tardor el seu contingut de mannitol arriba fins el 25% del pes sec [11,16].	274 275 276 277 278
Té diferents aplicacions, entre elles en la indústria alimentària s'utilitza com a goma per a la producció de laminadures, també s'utilitza per a endolcir productes com la xocolata [11,16].	279 280 281
3.1.2. Lípids	282
El contingut lipídic en microalgues depèn de l'espècie. Espècies com <i>Prymnesium sp.</i> i <i>Schizochytrium sp.</i> , poden tenir entre un 22-38% i un 50-77% de greix, respectivament. En canvi, en altres microalgues riques en proteïnes, el contingut en lípids és més variable i menor. Per exemple en el cas de l'espècie <i>Spirulina plantensis</i> pot arribar a contenir un 4-9% del seu pes sec, en el cas de l'espècie <i>Chlorella phyrenoidosa</i> un 2%, en canvi l'espècie <i>Chlorella vulgaris</i> pot arribar a contenir 14-22% [1,13].	283 284 285 286 287 288
El contingut lipídic de les microalgues es veu afectat per l'estació de l'any i els canvis ambientals. Generalment predominen els àcids grassos poliinsaturats (AGPI) i fins i tot el contingut d'àcid linoleic (C18:2) i linolènic (C18:3) pot arribar a ser superior que en llavors de colza, soja o oli de gira-sol. També els gèneres <i>Phaeodactylum</i> , <i>Nannochloropsis</i> , <i>Thraustochytrium</i> , <i>Schizochytrium</i> i l'espècie <i>Koliella antartica</i> han demostrat acumular grans quantitats d'AGPI de cadena llarga com l'eicosapentaenoic (EPA) i el docosahexanoic (DHA), necessaris pel desenvolupament neurològic i cognitiu dels infants i per la prevenció de malalties cardiovasculars, entre altres. Generalment la font d'EPA i DHA en humans prové de peixos com el salmó, verat, sardina o el bacallà (Taula 5). En la taula 5 es pot observar el contingut d'àcids grassos omega 3 dels anteriors gèneres, comparant el contingut amb fonts animals d'omega 3, com son alguns peixos. Podem observar que les microalgues tenen un contingut similar, sobretot el cas de <i>Thraustochytrium</i> que arriba a superar el contingut d'omega 3 de la sardina. A més, la suplementació d'EPA i DHA a través de les microalgues pot ser una alternativa per aquelles persones que no inclouen el peix en la dieta, com per exemple els vegans, alhora que també pot permetre disminuir el consum de contaminants com el mercuri, ja que les algues contenen nivells baixos de contaminants en comparació amb els peixos. En aquest sentit, les microalgues s'han utilitzat com a font per obtenir EPA i DHA i elaborar complements alimentosos, per la qual cosa els AGPI de les microalgues han esdevingut productes comercials d'alt valor ja que aproximadament cada quilo costa \$140. Aquest alt contingut en AGPI ha fet que també les microalgues siguin una font molt interessant per a la producció de pinsos, i en especial, en pinsos per aqüicultura, essent d'una banda més sostenible que la utilització d'olis de peix, i podent aportar més EPA i DHA que els greixos vegetals com la soja. Cal matissar que els extractes d'EPA i DHA utilitzats per a complements alimentosos són purificats, mentre	289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312

que els afegits als pinsos no, raó per la qual són més econòmics, de fet es segueix treballant per abaratir el seu cost [1,3,8,27,28].

Taula 5 Contingut d'àcids grassos omega 3 en microalgues i peixos [3]

	Contingut d'àcids grassos de cadena llarga omega 3 (% sobre el total d'AG)	Tipus d'àcid gras omega 3
Microalgues		
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	25,8	EPA
<i>Nannochloropsis oceanica</i>	23,4	EPA
<i>Nannochloropsis salina</i>	28	EPA
<i>Thraustochytrium sp.</i>	45,1	EPA+DHA
<i>Schizochytrium sp.</i>	32,5	DHA
Peixos		
<i>Oncorhynchus gorboscha</i> (salmó rosat del pacífic)	27,5	EPA+DHA
<i>Sardinops sagax</i> (sardina)	44,08	EPA+DHA

Les microalgues també contenen esterols, predominant l'ergosterol, per exemple el contingut total d'esterols de *Chlorella sorokiniana* és de 3,2 nmol · mg/pes sec d'alga equivalent a 1,2693 µg/pes sec d'alga, dels quals el 99% és ergosterol [29].

En el cas de les **macroalgues** els lípids suposen generalment com a màxim el 4,5% del pes sec i predominen els AGPI. El contingut de lípids també es veu afectat per l'estació de l'any i els canvis ambientals, en concret quan les temperatures són baixes augmenta el contingut d'AGPI. Malgrat predominen els AGPI també contenen un fracció de lípids insaponificables, els carotenoides. En algues vermelles i verdes trobem β-carotens, luteïna i violaxantines i en algues brunes trobem fucoxantines, tocoferols, esterols i terpenoides [11,17,30].

Tot i que el contingut de lípids és similar, varia lleugerament depenent del tipus d'alga. Les algues vermelles en general contenen àcid palmític (C16:0), oleic (C18:1n9), araquidònic (C20:4n-6), linoleic (C18:2n6), alfa-linolènic (C18:3n3) i EPA [31,32].

Les algues brunes contenen àcids grassos C16:0, C18:1n9 i AGPI amb 18 (C18:2n-6, C18:3n3, C18:4n3) i 20 (C20:4n-6, C20:5n-3) àtoms de carboni. El seu contingut de AGPI de la sèrie n-3 és superior al de la sèrie n-6. En concret trobem el major contingut de AGPI n-3 en *Alaria marginata* amb un 45,2% sobre el total de lípids. L'espècie *Hedophyllum sessile* es caracteritza per tenir el nivell més baix de AGPI i especialment de la sèrie n-3 (amb un total de 8,9% d'AGPI). Cal destacar que les diferents parts de les algues poden contenir diferent contingut lipídic, així per exemple l'alga *Macrocystis integrifolia*, conté diferents quantitats i tipus d'AG als estípits i a les làmines. Els estípits contenen una major proporció d'AG saturats i d'AGPI n-6 que les làmines, en canvi en les làmines hi ha major proporció d'AGPI n-3. Aquestes diferències depenen de l'espècie d'alga [31].

I per últim, les algues verdes contenen majoritàriament àcids grassos saturats C16:0 i C18:0. També contenen com a components minoritaris AGPI de cadena llarga com l'araquidònic, EPA i DHA, encara que la suma de tots els AGPI no supera el 4,5% [31].

En la taula 6 trobem les macroalgues algues més utilitzades com a aliment avui dia i la seva composició lipídica. 342
343

Taula 6 Composició lipídica de les macroalgues [11] 344

	Contingut total lipídic	C12:0	C14:0	C15:0	C16:0	C17:0	C18:0	C20:0	w-3	w-6	EPA	DHA
Phaeophyta												
<i>Laminaria i Saccharina</i>	0,3-1	0,06	2,9	0,4	23-36	0,16	1,5-2,3	0,28	25	21	5,4-16	-
<i>Fucus</i>	0,5-1,5	0,1	14	-	10-24	-	1	-	-	-	0,5-1,5	-
<i>Ascophyllum</i>	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Undaria</i>	1	-	2,3-4,5	0,21	11-25	0,2	0,69-3	0,39	45	22	2,9-15	-
Clorophyta												
<i>Ulva</i>	0,3	0,14	1,1-1,5	0,2-1,1	3,2-14	-	1,4-8,4	0,19-6,5	6,6	-	1	0,8
Rodophyta												
<i>Chondrus</i>	0,7	-	1	-	12	-	3,5	-	68	-	35	-
<i>Porphyra</i>	0,12-2,5	0,06	0,53-3,4	0,41	23-63	0,19	0,7-1,3	0,33	7,2	8	6-54	0
<i>Palmaria</i>	0,2-3,8	-	6,4	0,8	23	-	1,1	-	26	2,1	47	-

El contingut total lipídic és el % sobre el pes sec de l'alga, la resta de continguts és el % sobre el contingut total lipídic. C12:0 (àcid làuric), C14:0 (àcid mirístic), C15:0 (àcid pentadecanoic), C16:0 (àcid palmític), C17:0 (àcid heptadecanoic), C18:0 (àcid esteàric), C20:0(àcid), w-3(àcids grassos omega 3), w-6 (àcids grassos omega 6), EPA (àcid gras eicosapentaenoic) i DHA (àcid gras docosahexaenoic). Els valors amb - no són disponibles. 345
346
347
348

Les macroalgues també contenen esterols. En el cas de les algues brunes predomina el fucosterol i l'isofucosterol, podent arribar a contenir 1197,6-5260,2 mg/kg pes sec. En les algues vermelles el principal esterol és el colesterol, seguit del demosterol. El contingut en colesterol d'aquestes pot arribar a ser de 289,2-1384,5 mg/kg pes sec. En algues verdes predomina el fucosterol, per exemple *Ulva lactuca* pot arribar a contenir-ne 2521,8mg/kg pes sec [30,33]. 349
350
351
352
353
354

3.1.3. Proteïnes 355

La concentració de proteïnes en algues es calcula utilitzant el factor de conversió total de nitrogen a proteïna basat en l'assumpció que tot el nitrogen de la mostra es transforma en proteïna. Per tant s'ha de tenir en compte una sobreestimació del contingut de proteïna pel contingut significant de nitrogen inorgànic d'origen no proteic que contenen les algues [11,12]. 356
357
358
359
360

Les **microalgues** contenen tots els aminoàcids essencials que els humans no som capaços de sintetitzar. El seu perfil d'aminoàcids és similar al de fonts proteiques d'alta qualitat com són l'albumina de l'ou i la soja. En la taula 7 observem una comparació del perfil d'aminoàcids de diferents espècies de microalgues i de l'ou i la soja [1]. 361
362
363
364

365
366
367

Taula 7 Contingut proteic (% sobre pes sec) i d'aminoàcids (g/100g de proteïna) en microalgues, ous i soja [13,34]

	<i>Spirulina platensis</i>	<i>Dunaliella bardawil</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Arthrospira maxima</i>	Ou	Soja
Contingut total proteic	46–70	57	51–58	60–71	12,7	35,9
Alanina	9,5	7,3	7,9	6,8	-	5
Arginina	7,3	7,3	6,4	6,5	6,2	7,4
Àcid aspàrtic	11,8	10,4	9	8,6	11	1,3
Cisteïna	0,9	1,2	1,4	0,4	2,3	1,9
Àcid glutàmic	10,3	12,7	11,6	12,6	12,6	19
Glicina	5,7	5,5	5,8	4,8	4,2	4,5
Histidina	2,2	1,8	2	1,8	2,4	2,6
Isoleucina	6,7	4,2	3,8	6	6,6	5,3
Leucina	9,8	11	8,8	8	8,8	7,7
Lisina	4,8	7	8,4	4,6	5,3	6,4
Metionina	2,5	2,3	2,2	1,4	3,2	1,3
Fenilalanina	5,3	5,8	5	4,9	5,8	5
Prolina	4,2	3,3	4,8	3,9	4,2	5,3
Serina	5,1	4,6	4,1	4,2	6,9	5,8
Tirosina	0,3	0,7	2,1	1,4	1,7	1,4
Treonina	6,2	5,4	4,8	4,6	5	4
Triptòfan	5,3	3,7	3,4	3,9	4,2	3,7
Valina	7,1	5,8	5,5	6,5	7,2	5,3

Els valors amb – no són disponibles.

El contingut de proteïna varia depenent de l'estació de l'any, durant períodes de restricció de nutrients com l'estiu el contingut disminueix, tant per a microalgues com per a macroalgues [17].

Algunes cianobacteris com *Arthrospira platensis* i l'alga verda unicel·lular *Chlorella* contenen fins al 70% del pes sec de proteïna, superior al contingut proteic de l'ou i la soja i com s'ha esmentat prèviament, amb un perfil d'aminoàcids semblant. També el gènere *Spirulina* ha sigut molt estudiat per la gran quantitat de proteïna i aminoàcids essencials, així com pel fet que la seva proteïna és fàcilment digerible [17,35].

Tot i així, en la indústria alimentària l'ús de les microalgues com a font proteica té algunes limitacions ja que per exemple produeix un canvi en l'aliment quant al color, la consistència i el gust. També s'ha de tenir en compte que els costos de produir microalgues són superiors als de produir altres fonts proteiques convencionals, però s'està treballant per a reduir-los doncs poden arribar a ser una font de proteïna més sostenible [8,13].

D'altra banda les algues com a font proteica alternativa tenen una acceptació superior per part de la població a la d'altres fonts alternatives com ara insectes, carn cultivada (producte el qual es realitza amb teixit muscular cultivat in vitro) o substitutius de la carn (derivats de soja, cereals o fongs). Tot i així, les algues segueixen sent menys acceptades que fonts proteiques convencionals (carn, peix, ous) [9].

Quant a les **macroalgues**, la fracció proteica també depèn de l'espècie, però generalment les algues brunes en tenen una menor fracció (Taula 8). El gènere *Undaria* té el màxim contingut (fins el 24% del pes sec), seguit de gèneres com *Sargassum*, *Fucus* i *Laminaria/Saccharina* amb un contingut màxim del 17-21%. El gènere amb menor contingut és *Ascophyllum*, aquesta conté un màxim del 10% en pes sec [11].

368
369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

En algues vermelles i verdes el contingut proteic màxim pot arribar a ser del 35% en *Palmaria palmata*, 44% en *Porphyra tenera* i 44% en *Ulva spp.* Aquests nivells són comparables als de vegetals proteics com la soja que té un contingut proteic d'un 35,9% del pes sec [11,36].

En la taula 8 trobem el contingut d' aminoàcids de diferents gèneres de macroalgues. Els aminoàcids predominants són l'àcid aspàrtic i glutàmic. Cal destacar que l'àcid glutàmic col·labora en la sensació del gust "Umami" i l'espècie *Laminaria japonica* és la font original d'aquest sabor [20].

Els aminoàcids predominants en algues brunes són treonina, valina, leucina, lisina, glicina i alanina, i els aminoàcids minoritaris són cisteïna, metionina, histidina, triptòfan i tirosina. En algues vermelles predomina l'àcid glutàmic i l'aspàrtic i en l'espècie *Ulva armoricana* (alga verda) l'aminoàcid essencial prolina [11].

Taula 8 Contingut proteic (% sobre pes sec) i d'aminoàcids (g/100g de proteïna) en macroalgues [11]

	<i>Laminaria i Saccharina</i>	<i>Fucus</i>	<i>Undaria</i>	<i>Ulva</i>	<i>Chondrus</i>	<i>Porphyra</i>	<i>Palmaria</i>
Contingut total proteic	3-21	1,4-17	11-24	4-44	6-29	7-44	8-35
Alanina	8-9	5,4	1,3-4,8	1,8-8,5	3,8-6,4	7,4	6,7-7,5
Arginina	5-5,9	9,4	0,52- 7,5	3-15	6,8-34	16	5,7-6,2
Àcid aspàrtic	9,6-9,8	9	1,3-5,6	6,5-9,2	3,8-8,5	7	9,3
Cisteïna	0,6-1,3	-	0,11- 0,5	1,2-2,2	2,6	0,3	1,3
Àcid glutàmic	11-13	11	2,1-5,1	3,2-10	4,1-9,9	-	9,9
Glicina	6,5-7	5,4	0,6-4,4	2,2-7	3,5-7,3	7,2	-
Histidina	2,3-2,4	1,6	1,3-2,7	1,8-4,6	0,9-2,1	1,4	2,1-13
Isoleucina	5,5-5,8	3	0,5-2,9	2,8-6,1	1,8-5,7	4	5,3
Leucina	8,7-9,2	5	0,9-5,1	5-9,2	2,9-7,8	8,7	7,1-7,8
Lisina	6,5-7,3	6	0,6-4,3	4,5-17	4,9-8,1	4,5	3,3-8,2
Metionina	1,9-2,2	0,4	0,32- 2,2	1,6-19	0,5-1,5	1,7	1,9-2,7
Fenilalanina	5,7-6,2	2,6	0,6-3,7	3,9-13	1,5-5,2	3,9	5,1-5,2
Prolina	4,8-4,9	3,3	0,6-2,8	4-5,2	1,9-4,7	6,4	4,4
Serina	3,8-3,9	3,5	0,5-2,8	3-5,4	2,2-3,9	2,9	4,6-6,3
Tirosina	4-4,3	1,2	1,6	1,4-5	1-6,3	2,4	3,4-4,5
Treonina	4,6-5	3,3	2,4	3,1-5,6	2,2-4,2	4	3,6-4,5
Triptòfan	-	-	0,8	0,3	-	1,3	-
Valina	6,9	3	4,1	4,9-7,7	2,7-7	6,4	6,9-7,3

Els valors amb - no són disponibles.

Les algues brunes són el grup amb major contingut d'àcid aspàrtic i glutàmic i les algues vermelles les que tenen menor contingut d'aquests dos aminoàcids. La histidina, leucina, isoleucina i valina predominen en les espècies *Palmaria palmata* i *Ulva spp.* Fins i tot el contingut d'isoleucina i treonina en l'espècie *Palmaria palmata* és similar al de productes com els llegums i el contingut d'histidina trobada en *Ulva pertusa* és similar a la trobada en la proteïna d'ou [20,37].

En algues vermelles també trobem taurina, per exemple en *Porphyra umbilicalis* trobem fins a 1- 1,3g/100g pes sec, que tot i no ser un aminoàcid essencial, és un component dels àcids biliars que disminueix els nivells de colesterol en sang [17].

3.1.4. Vitamines	420
Les microalgues són font de les vitamines A, B ₁ , B ₂ , B ₆ , B ₁₂ , C, E, niacina (B ₃), biotina (B ₈), àcid fòlic (B ₉) i àcid pantotènic (B ₅). El seu contingut d'aquestes vitamines és comparable al del llevat fermentable per fer pa i la carn i és superior al que es troba en la soja i els cereals [3].	421 422 423 424
El contingut de vitamines varia depenent de la fase de creixement, l'estatus nutricional de l'alga i la intensitat de llum a la que s'exposa, entre altres. Els tractaments post collita, com l'assecat, també poden afectar a les vitamines inestables a altes temperatures, com són la B ₁ , B ₂ , C i B ₃ [3].	425 426 427 428
Algunes microalgues tenen interès en la indústria alimentària per ser font de B ₁₂ per a vegans i vegetarians. Aquesta vitamina només és fabricada per alguns bacteris. Per tant, com es possible que les algues tinguin? Això és degut a que aquests bacteris encarregats de produir B ₁₂ resideixen en les superfícies de les algues [3,17].	429 430 431 432
La biodisponibilitat de la B ₁₂ depèn de la forma química en la que es trobi, en concret la cobalamina és la forma que s'absorbeix millor, per tant, és la més biodisponible. En canvi les pseudovitamines B ₁₂ o pseudocobalamines tenen una biodisponibilitat menor degut a la seva afinitat moderada al factor intrínsec (proteïna que ajuda a la vitamina B ₁₂ a ser absorbida a l'intestí) i són inactives en humans. És important doncs, detallar quina és la forma química de B ₁₂ que trobem en les algues [38].	433 434 435 436 437 438
Les algues que s'utilitzen principalment com a font de B ₁₂ per a suplementos són <i>Arthospira</i> i <i>Spirulina</i> (coneguts comercialment com espirulina), les quals contenen entre 127 i 244 µg/100g de pes sec d'alga. Segons l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (EFSA) es requereixen 4µg/d de B ₁₂ , per tant amb una ració de 1,6-3,2g d'aquesta alga cobriríem els nostres requeriments diaris. Ara bé, el 83% del contingut de B ₁₂ de l'espirulina són pseudovitamines B ₁₂ , només un 17% s'ha identificat com a vitamina B ₁₂ activa [38,39].	439 440 441 442 443 444
Al 2015 es va realitzar un estudi on s'indicava que <i>Chlorella pyrenidosa</i> podia ser una font de B ₁₂ en la forma activa i no com els anàlegs que trobem en l'espirulina [40].	445 446
Altres estudis més recents confirmen que <i>Chlorella</i> conté quantitats adequades de B ₁₂ (6–500 µg/100 g pes sec), sobretot <i>Chlorella pyrenidosa</i> . En aquest cas trobem aquesta vitamina perquè les cèl·lules d'aquesta alga són capaces d'absorbir la B ₁₂ que es troba en el medi formada per bacteris. Per tant és millor utilitzar <i>Chlorella</i> que <i>Spirulina/Arthospira</i> com a suplement de B ₁₂ [41,42].	447 448 449 450 451
Les microalgues també tenen interès pel seu contingut en carotenoides o provitamines A. S'han identificat més d'un centenar de carotenoides diferents. L'estabilitat d'aquests depèn de la distribució, és a dir, del medi en el que es troben. Els carotenoides de les algues termofíliques són menys sensibles a l'efecte de la temperatura, per tant tenen més interès comercial [3].	452 453 454 455 456
El carotenoides també són tenen propietats antioxidants, poden inactivar radicals lliures i espècies reactives d'oxigen. Els beta-carotens són els principals carotenoides produïts per microalgues, sobretot són abundants en <i>Dunaliella salina</i> i <i>Haemotococcus pluviavae</i> . Alguns cianobacteris també contenen ε - i alfa-carotens [3].	457 458 459 460
El carotenoides també són pigments, i com a tals en la indústria alimentària s'utilitzen la cantaxantina, astaxantina i luteïna de la <i>Chlorella</i> per aportar color a productes com el salmó. L'astaxantina és un pigment que s'ha associat a molt efectes beneficiosos per la salut, com ara una millora de la resistència muscular, protecció front l'envelliment, la inflamació i front danys per rajos ultraviolats, entre altres [3].	461 462 463 464 465
Pel que fa a les macroalgues , també contenen tant vitamines hidrosolubles com liposolubles, són font de vitamina A, E, C i B (particularment de B ₁ i B ₁₂) [17,20].	466 467
Les espècies amb major contingut de vitamina C són <i>Ulva lactuca</i> (10mg/100g pes sec), <i>Undaria pinnatifida</i> (14mg/100g pes sec), <i>Gracilaria spp</i> (25mg/100g pes sec) i <i>Eisenia arborea</i> (34,4mg/ 100g pes sec) [17,20].	468 469 470

Quant a la vitamina E, l'espècie *Macrocystis pyrifera* pot arribar a contenir quantitats de alfa-tocoferol semblants a olis de palma, gira-sol o soja. Però s'ha de tenir en compte que l'absorció d'aquesta vitamina millora en acompanyament d'àpats amb greix i les algues, com hem esmentat prèviament, no són una gran font de lípids [17].

Les macroalgues també són font de provitamina A o carotens, en concret predomina el β-carotè; així per exemple, *Codium fragile* o *Gracilaria chilensis* contenen nivells d'aquest pigment similars als de la pastanaga [17].

El contingut de vitamines és menor durant els mesos d'estiu. Els majors continguts de vitamina C, B₁ i B₂ els trobem durant els mesos d'abril i setembre i els de provitamina A en el mes de gener [17].

Taula 9a Contingut de vitamines hidrosolubles en macroalgues [20]

481

	B ₁		B ₂		B ₃		B ₆		B ₈		B ₉		B ₁₂		C	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
<i>Ascophyllum nodosum</i>	862,5	38,8	237,5	10,7	NA	NA	2,9	0,13	12,5	0,56	14587,5	656,4	0,52	0,023	8175	367,87
<i>Laminaria digitata</i>	62,5	2,8	62,5	2,8	2966 2	1334,8	3112 ,5	140	6412 ,5	288,56	3112,5	140	3	0,135	35525	1598,63
<i>Undaria pinnatifida</i>	4200	189	9750	438,7 5	7500 0	3375	2700	121, 5	187, 5	8,44	5500	247,5	3,6	0,16	184737, 5	8313,19
<i>Porphyra umbilicalis</i>	675	30,4	2400	108	6675	300,4	1037 ,5	46,7	NA	NA	8800	396	6,74	0,3	161062, 5	7247,8
<i>Palmaria palmata</i>	150	6,75	500	22,5	5000	225	12,5	0,56	25	1,125	125	5,6	11,5	0,52	69000	3105
<i>Ulva spp.</i>	600	27	300	13,5	8000 0	3600	NA	NA	NA	NA	125	5,6	63	2,8	125000	5625

La columna A de cada vitamina correspon als µg/100g de pes sec d'alga, i la columna B correspon a la ració mínima d'algues, µg/4,5g de pes sec d'alga. Els valors NA no són disponibles.

Taula 9b Contingut de vitamines liposolubles en macroalgues [20]

484

	A		E	
	A	B	A	B
<i>Ascophyllum nodosum</i>	37,5	1,68	362,5	16,31
<i>Laminaria digitata</i>	9775	439,9	3437,5	154,69
<i>Undaria pinnatifida</i>	12350	555,7	1740	783
<i>Porphyra umbilicalis</i>	6800	306	1425	64,12
<i>Palmaria palma ta</i>	7975	358,8	16200	729
<i>Ulva spp.</i>	3200	144	NA	NA

La columna A de cada vitamina correspon als µg/100g de pes sec d'alga, i la columna B correspon a la ració mínima d'algues, µg/4,5g de pes sec d'alga. Els valors NA no són disponibles.

3.1.5. Elements minerals

Les **microalgues** també són font de minerals, sobretot de sodi (Na), potassi (K), calci (Ca), magnesi (Mg), ferro (Fe) i zinc (Zn). També poden contenir traces d'altres minerals [43].

L'oscil·lació del contingut de calci, fòsfor, magnesi, potassi, sodi i sulfur és de 0,26-2,99, 0,73-1,46, 0,26-0,71, 0,67-2,39, 0,81-2,66 i 0,41-1,38 respectivament [14].

L'espècie amb major contingut de calci i fòsfor és *Tetraselmis chuii* amb 2,99% i 1,46% respectivament. En canvi el major contingut de magnesi, potassi, sodi i sulfur es pot trobar en *Phaedactylum tricornutum* [14].

Les microalgues més utilitzades per al consum humà, *Chlorella* i *Spirulina*, també són font de diferents minerals, en la taula 10 s'especifica el seu contingut.

Taula 10 Minerals predominants en les espècies *Spirulina spp* i *Chlorella vulgaris* [38,44]

Mineral	<i>C. vulgaris</i>	<i>Spirulina spp</i>
Calci	1,6 ± 0.1	2.0 ± 0.1
Fòsfor	14.6 ± 0.1	13.5 ± 0.2
Potassi	12.2 ± 0.1	16.3 ± 0.1
Sodi	0.4 ± 0.1	14.0 ± 0.3
Magnesi	3.0 ± 0.1	3.1 ± 0.1
Zinc *	28,4 ± 1.0	17.0 ± 0.1
Ferro *	1455.5 ± 19.1	713.0 ± 11.2
Coüre *	9.3 ± 0.1	10.4 ± 1.4
Manganès *	50.1 ± 2.0	44.1 ± 12.7
Alumini *	219.5 ± 2.1	268.0 ± 5.7

El contingut de minerals és g/kg. Els minerals amb * tenen la unitat mg/kg.

Les **macroalgues** tenen capacitat d'absorbir substàncies inorgàniques del mar, raó per la qual són considerades font de minerals. El contingut varia segons l'espècie, factors ambientals, geogràfics i segons les variacions fisiològiques [15].

Tenen un contingut de minerals d'entre 107 i 237,2g/kg, el qual correspon al 8-40% del pes sec de l'alga [16,43].

En general les algues són font de calci i fins i tot poden arribar a contenir nivells superior que en plantes terrestres, per exemple *Ulva lactuca* que conté 3250mg de calci per 100g d'alga seca [20].

Les macroalgues també són font de sodi, potassi, ferro (*Palmaria palmata* conté 80mg ferro en 100g pes sec), coüre i iode (Taula 11). Aquest últim és un nutrient important per a la regulació de múltiples vies metabòliques (es comentarà en l'apartat 3.2) [20].

Taula 11 Contingut de minerals en macroalgues [15,20,45]

	Calci		Potassi		Magnesi		Sodi		Coüre		Ferro		Iode	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
<i>Ascophyllum nodosum</i>	2300	103,5	3060	137,7	900	40,5	469 8	211,2 7	3,7 5	0,16 8	58,75	2,64	72,5	3,26
<i>Laminaria digitata</i>	2210	99,45	72200	549	244 5	110,0 2	378 5	170,3 2	1,7 5	0,07 8	276,25	12,4 3	425	19,1 2
<i>Undaria pinnatifida</i>	1170	52,65	650	29,25	820	36,9	467 5	210,3 7	2	0,09	40,75	1,83	40	1,8
<i>Porphyra umbilicalis</i>	300	13,5	2650	164,2 5	950	42,75	105 0	47,25	0,8 8	0,03 9	46,25	2,08	11,7 5	0,53
<i>Palmaria palmata</i>	930	41,85	7310	328,9 5	610	27,45	159 5	71,77	2,5	0,11	80	3,6	63,7 5	2,87

<i>Ulva spp</i>	3250	146,25	2450	110,2 5	465 0	209,2 5	340 0	153	3,1 1	0,14	152,5	6,86	16,2 5	0,73
<i>Hizikia fusiforme</i>	1620	72,9	5093	229,1 8	654	29,43	162 0	72,9	2	0,09	63	2,83	42	1,89
<i>Laminaria japonica</i>	900	40,5	450	20,25	900	40,5	183 0	82,35	<1	<0,0 45	12	0,54	440	19,8

La columna A són mg/100g pes sec d'alga i la columna B mg/4,5g pes sec d'alga.

Malauradament, degut a aquesta capacitat d'unir-se a certs minerals, les algues també poden acumular metalls pesants, tal i com s'aprofundirà en l'apartat 3.2. [16].

3.2. Toxicitat de les algues

Malgrat les algues destaquen pel seu contingut en polisacàrids, AGPI, vitamines i minerals beneficiosos per la salut de l'humà, l'alta capacitat d'absorbir minerals pot causar l'acumulació de metalls pesants i altres substàncies tòxiques.

El principal risc del consum d'algues és una possible acumulació de substàncies tòxiques, com ara metalls pesants, plaguicides, bifenils policlorats o hidrocarburs. També pot suposar un risc l'excés de iode que poden arribar a contenir [46].

El iode és un mineral essencial necessari per la síntesi de les hormones tiroides (T3 i T4), per tant és important en l'etapa de creixement i pel correcte metabolisme, sobretot per als nadons. Ara bé, una exposició elevada de iode pot suposar una disfunció de la tiroides i causar hipertiroïdisme [47].

A causa de l'augment del consum d'algues ha sorgit la necessitat de crear una regulació sobre el contingut de metalls pesants o d'altres tòxics. Al 2018-2020 la Comissió Europea va publicar una recomanació indicant la necessitat de control de metalls pesats i iode en algues[48], posteriorment a la qual, l'EFSA va emetre un informe sobre el contingut en metalls d'algues cultivades a Dinamarca [47], així com una anàlisi de risc del seu consum d'algues a nivell internacional. També, l'Agència Catalana de Seguretat Alimentària (ACSA) al 2019 va realitzar un estudi sobre els continguts de iode i de possibles tòxics com són l'arsènic inorgànic, plom, cadmi i mercuri, comparant-los amb els valors de seguretat utilitzats en les avaluacions de l'EFSA. Aquest estudi es centra en 10 espècies diferents de macroalgues que es comercialitzen a Catalunya: *Ulva spp*, *Durovillaea antartica*, *Himanthalia elongata*, *Hizikia fusiforme*, algues del gènere *Laminaria*, *Undaria pinnatifida*, *Gelydium spp*, *Palmaria palmata*, *Porphyra spp*, *Pyropia spp*. i *Chondrus crispus* [46].

En la taula 12 podem observar els diferents límits establerts per l'EFSA dels metalls pesants: arsènic inorgànic, cadmi plom, mercuri inorgànic i metil-mercuri. Els valors de seguretat utilitzats són la dosi de Benchmark (BDML₀₁) que és el límit de confiança inferior al 5% per a una dosi que produeix un increment de l'1% en la incidència de tumors i la ingesta setmanal tolerable (IST) [47].

Taula 12 Valors de seguretat per a metalls pesats en algues [47]

Arsènic inorgànic	BDML ₀₁	0,3-0,8 µg/kg pc · dia
Cadmi	IST	2,5 µg/kg pc · setmana
Plom	BDML ₀₁	0,5 µg/kg pc · dia*
Mercuri inorgànic	IST	4 µg/kg pc · setmana
Metil-mercuri	IST	1,3 µg/kg pc · setmana

*Ingesta associada a BDML01 en sang. Expressat en microgram per kilogram de pes corporal per dia o setmana

En el cas de l'arsènic inorgànic s'ha considerat el límit inferior de la dosi de referència associada amb un increment del risc del 1% de patir càncer de pulmó, pell o bufeta. Quant al cadmi i al mercuri inorgànic s'utilitza la IST pels seus efectes tòxics sobre el ronyó. Per al metil-mercuri també s'utilitza la IST pels seus efectes sobre el desenvolupament neuro-

nal infantil i en la fase prenatal. L'EFSA considera per al plom utilitzar el BDML₀₁ de diferents efectes derivats de la seva concentració en sang. Per a l'estudi d'ACSA es va escollir el nivell d'ingesta de plom associat amb BDML₀₁ referit a efectes sobre el desenvolupament cerebral en nens [46].

En el cas del iode els valors de referència utilitzats són la ingesta màxima tolerable (tolerable upper intake level –UL) i la ingesta adequada (adequate intake –AI).

Taula 13 Límits establerts de contingut de iode en algues [49]

	Edat	Gènere	AI (µg/dia)	UL (µg/dia)
Infants	7-11 mesos	Home i dona	70	ND
Nens	1-3 anys	Home i dona	90	200
Nens	4-6 anys	Home i dona	90	250
Nens	7-10 anys	Home i dona	90	300
Nens	11-14 anys	Home i dona	120	450
Nens	15-17 anys	Home i dona	130	500
Adults	> o =18 anys	Home i dona	150	600
Dones embarassades	> o =18 anys	Dones	200	600
Dones lactants				

A continuació s'especifica els diferents minerals i metalls pesants que poden contenir les algues utilitzant l'informe realitzat per ACSA.

3.2.1. Iode

El gènere *Laminaria* té un major contingut de iode amb una mitjana de 3970mg/kg, seguida d'*Hizikia fusiforme* amb 630mg/kg. La resta d'algues analitzades aproximadament tenen menys del 10% respecte a *Laminaria*, tot i així, el contingut en iode és superior que en la resta d'aliments com per exemple en peixos i marisc en les quals la mitjana és 0,2-1,5mg/kg [46].

L'estudi d'ACSA planteja diferents escenaris de consum (consum de 15 i 6g per a una freqüència diària, setmanal o mensual) i observa si es supera la AI (0,15mg/dia) i UL (0,6mg/dia). En el cas de *Laminaria* es superaven tant la AI com la UL en qualsevol dels escenaris plantejats. En la majoria d'etiquetes de productes comercials d'aquesta alga és recomana no superar el 0,5g diaris, però tot i així, aquesta petita quantitat superaria la UL determinada per l'EFSA [46].

Per a les altres algues es determina que un consum extrem (6-15g/dia) suposa una ingesta de iode superior a l'AI i en la majoria de casos superior a la UL. En canvi, en general, el consum setmanal o mensual d'algues no suposa una ingesta de iode superior a la UL, exceptuant el cas de *Laminaria* i exceptuant el consum setmanal de racions grans d'*Hizikia fusiforme* i *Chondrus crispus*. El consum setmanal de sushi (tenint en compte que 1 ració són 4,5g d'alga nori) no excedeix l'AI [46].

Pel que fa a dones en lactància o embarassades, el consum setmanal d'algues suposaria superar l'AI (0,20mg/dia), raó per la qual per a aquest grup de la població es recomana el consum ocasional [46].

Cal destacar que el tractament culinari per calor pot disminuir el 28-60% de iode i en cocions llargues fins el 99%, per tant s'ha de tenir en compte en aquelles algues que es consumeixin cuites ja que suposa una disminució de l'exposició [46].

3.2.2. Arsènic inorgànic

L'arsènic es pot trobar de múltiples formes, les més tòxiques són les formes inorgàniques, especialment les que són trivalents. En canvi les formes orgàniques són poc tòxiques i predominen en organismes marins [46].

La majoria d'algues tenen la capacitat de transformar l'arsènic inorgànic que absorbeixen en arsènic orgànic, excepte *Hizikia fusiforme*, per tant és l'alga amb major quantitat d'arsènic inorgànic (86mg/kg). La resta d'algues tenen valors similars a l'arròs (0,151mg/kg) que és l'aliment amb major contingut d'arsènic inorgànic. L'ACSA determina que l'única freqüència de consum de *Hizikia fusiforme* que no supera el valor de seguretat (0,3 µg/kg/d) és la de 6g mensuals. L'Agència Espanyola de Seguretat Alimentària i Nutrició (AESAN) directament recomana no consumir *Hizikia fusiforme* i escollir altres algues. Sorprenentment, molts comerciants recomanen en l'etiqueta amb la que es comercialitza aquesta alga el consum de 0,6g diaris, el que implicaria superar el valor de seguretat. No ho superaria si el consum fos setmanal o mensual [46,50].

A més a més, en el cas de l'arsènic el tractament culinari per calor no suposa una disminució del contingut per evaporació [46].

3.2.3. Cadmi

L'alga amb un contingut superior de cadmi és la *Durvillaea antarctica* (3,4mg/kg), seguida de *Porphyra* (1,9mg/kg). Però només si el consum és extrem, de 15g diaris, es superaria el valor de seguretat (AI i UL). Per tant, a excepció d'aquests casos, el consum d'algues no suposa un risc respecte a la ingesta de cadmi [46].

3.2.4. Plom

El contingut de plom en algues en comparació amb altres aliments és alt. L'alga *Palmaria palmata* és la que té un contingut de plom superior (0,94mg/kg), seguida d'*Undaria pinnatifida*, *Ulva lactuca* i *Chondrus crispus* [46].

El consum extrem de 15g diaris de les anteriors algues superarà el valor de seguretat establert, encara que per a *Palmaria palmata* el consum de 6g diaris també el superaria. [46]

Per a la resta, el consum d'algues no suposaria una ingesta de plom superior al valor de seguretat (BMDL01 =0,5 µg/kg pc-dia), però els grups de persones vulnerables hauran de tenir en compte aquest factor [46].

3.2.5. Mercuri

Troben mercuri inorgànic en el sòl, a través d'aquest arriba al medi aquàtic i pot ser transformar per bacteris aquàtics i microalgues en mercuri orgànic (metil-mercuri), encara que en cap de les mostres de l'estudi d'ACSA es va trobar aquest compost [46].

Quant al mercuri total trobem que *Hizikia fusiforme* és la que conté més (0,03mg/kg), seguida de *Laminaria*. Tot i així, plantejant diferents escenaris de consum extrem, habitual i ocasional, no es superaria el valor de seguretat (IST= 4g/kg pc-setmana) [46].

4. Conclusions

Les macroalgues destaquen pel seu contingut en polisacàrids, essent del 4-76% del pes sec de l'alga i sent la major part d'aquests fibra. Tenen un baix contingut en lípids (com a màxim 4,5% del pes sec), predominant AGPI com EPA i DHA. Tot i no ser el grup d'algues amb major contingut de proteïna, també poden arribar a ser font d'aquest nutrient, per exemple el gènere *Undaria* arriba a contenir el 24% del pes sec. Cal destacar que el perfil d'aminoàcids essencials és comparable al de vegetals proteics com la soja. Quant a micronutrients, les macroalgues són riques tant en vitamines com minerals, destacant el seu

contingut en vitamines A, E, C, B1 i B12 i en els minerals sodi, potassi, calci, ferro, coure i iode. 630
631

Les microalgues més utilitzades en el consum humà (*Chlorella*, *Arthospita* i *Spirulina*) contenen nivells inferiors de carbohidrats que les macroalgues (fins al 17% del pes sec), generalment polisacàrids, malgrat algunes diatomees poden arribar a contenir fins un 80% del pes sec. En general les microalgues destaquen pel seu contingut en lípids (poden contenir fins al 77% del pes sec), essent la majoria AGPI i arribant a presentar tants àcids grassos omega 3 com el salmó o la sardina. Aquest fet les fa interessants per a la indústria alimentària com a font d'EPA i DHA especialment per aquelles persones que no consumeixen peixos. També destaquen pel seu contingut en proteïna, podent arribar fins al 71% com és el cas d'*Arthospira màxima* i amb un perfil d'aminoàcids similar al de fonts proteïques com l'ou o la soja. La proteïna d'ambdós grups (macro i microalgues) és considerada sostenible ja que s'ha demostrat que una reducció del consum de carn té un impacte positiu al medi ambient. Les algues poden ser fonts proteïques alternatives i són millor acceptades per part de la població que la ingesta d'insectes, carn cultivada, d'entre altres. Quant a micronutrients, les microalgues són font de vitamines i minerals destacant el seu contingut en vitamina A, B1, B2, B6, B12, C, E, B3, B8, B9 i B5 i els minerals sodi, potassi, calci, magnesi, ferro i zinc. En especial és interessant el seu contingut en B12, encara que ens hem de fixar en la forma química d'aquesta vitamina, ja que si es troba en forma de pseudocobalamina, aquesta és inactiva, com passa en *Arthospira* i *Spirulina* (el 83% del seu contingut és en forma de pseudovitamina B12), mentre que *Chlorella pyrenidosa* és font de vitamina B12 activa. 632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651

Ara bé, la mateixa capacitat d'absorbir minerals del medi aquàtic també explica que les algues absorbeixin metalls pesants (arsènic inorgànic, cadmi, plom i mercuri), els quals poden ser tòxics per als humans. El major contingut d'arsènic inorgànic es troba en *Hizikia fusiforme* (pot a contenir 86mg/kg); l'únic escenari que no supera el valor de seguretat establert és consumint 6g mensuals. Tot i així, l'organisme AESAN directament recomana no consumir aquesta espècie. El cadmi no suposa un risc en el consum d'algues. El major contingut de plom es troba en *Palmaria palmata*, un consum de 6g diaris supera el valor de seguretat. El major contingut de mercuri total es troba en *Hizikia fusiforme*, malgrat no supera el valor de seguretat. Un altre mineral que pot suposar un risc per a l'humà és el iode per l'excés que poden contenir certes algues, com ara *Laminaria* (3970mg/kg) o *Hizikia fusiforme* (630mg/kg). 652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662

En general als grups vulnerables, com embarassades, dones lactants, persones amb disfunció tiroidea, cardiopaties, insuficiència renal o en tractament amb medicaments a base de iode o liti és desaconsellable el consum d'algues i han d'evitar el consum de *Laminaria*. Els nens han de limitar el consum d'algues degut a que el risc no s'ha pogut caracteritzar completament. 663
664
665
666
667

Com a futura dietista-nutricionista, després de tenir en compte tota aquesta informació, recomanaria el consum de diferents algues per a la població no vulnerable, depenent dels objectius nutricionals. Pel que fa a les microalgues, si l'objectiu és ser utilitzades com a font proteica recomanaria els gèneres *Chlorella*, *Dunaliella*, *Spirulina* i *Arthospira*. Com a font de B12 recomanaria *Chlorella pyrenidosa*, tenint en compte que per cobrir el requeriments diaris (4microg/d de B12) seria necessària una quantitat diària d'aquesta alga de 0,9-75g i que pot ser cal combinar-la amb altres fonts de B12. En canvi, si l'objectiu és obtenir àcids grassos EPA i DHA recomanaria *Phaeodactylum*, *Nannochloropsis*, *Thraustochytrium*, *Schizochytrium* i l'espècie *Koliella antàrtica*. 668
669
670
671
672
673
674
675
676

Pel que fa a les macroalgues la recomanació seria evitar el consum d'*Hizikia fusiforme* pel seu elevat contingut en arsènic inorgànic i moderar el consum de *Laminaria digitata*, degut 677
678

al seu elevat contingut en iode. Per aportar fibra, *Porphyra*, *Ascophyllum*, *Undaria*, *Sargassum* i *Ulva* són una bona elecció, per aportar àcids grassos omega 3 *Chondrus*, *Palmaria* i *Undaria* i *Ulva* com a font de calci.

En resum, malgrat la toxicitat que es podria produir en algunes situacions per l'acumulació de metalls pesants o l'excés de iode, les algues tenen una composició nutricional interessant pel seu alt contingut en fibra, EPA, DHA, vitamina B₁₂ i proteïna de qualitat i sostenible. Per tant són un aliment recomanable, especialment com a font d'EPA, DHA i vitamina B₁₂ per al grup de la població que evita els productes animals en la seva dieta.

Referències

- Barkia, I.; Saari, N.; Manning, S.R. Microalgae for high-value products towards human health and nutrition. *Mar. Drugs*, **2019**; *17*(5):1–29; DOI: 10.3390/md17050304.
- Ibáñez Ezequiel, E.; Herrero Calleja, M. *Las algas que comemos*; CSIC: Madrid, España; 2017. ISBN: 978-84-00-10182-4
- Buono, S.; Langelotti, A.L.; Martello, A.; Rinna, F.; Fogliano, V. Functional ingredients from microalgae. *Food Funct.* **2014**; *5*(8):1669–85; DOI: 10.1039/c4fo00125g.
- FAO. Seaweeds used as human food [Internet]. Available online: <http://www.fao.org/3/y4765e/y4765e0b.htm> (accessed on 16 Feb 2021).
- Mohamed, S.; Hashim, S.N.; Rahman, H.A. Seaweeds: A sustainable functional food for complementary and alternative therapy. *TRENDS FOOD SCI TECH*, **2012**; *23*(2):83–96; DOI: 10.1016/j.tifs.2011.09.001.
- FAO. Alcance de la industria de las algas marinas. Available online: <http://www.fao.org/3/y5600s/y5600s07.htm> (accessed on 16 Feb 2021).
- FAO. Examen mundial de la pesca y la acuicultura. El estado mundial de la pesca y la acuicultura, 2014. Available online: <http://www.fao.org/3/i1820s/i1820s01.pdf> (accessed on 16 Feb 2021).
- Salter, A.M.; Lopez-Viso, C. Role of novel protein sources in sustainably meeting future global requirements. *Proc Nutr Soc*, **2021**; *80*:186–194; DOI: 10.1017/S0029665121000513.
- Onwezen, M.C.; Bouwman, E.P.; Reinders, M.J.; Dagevos, H. A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. *Appetite*, **2021**; *159*:105058; DOI: 10.1016/j.appet.2020.105058.
- Algae base. Available online: <https://www.algaebase.org/> (accessed on 11 April 2021).
- Holdt, S.L.; Kraan, S. Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *J Appl Phycol*, **2011**; *23*:543–97; DOI: 10.1007/s10811-010-9632-5.
- Øverland, M.; Mydland, L.T.; Skrede, A. Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. *J Sci Food Agr*, **2019**; *99*:13–24; DOI: 10.1002/jsfa.9143.
- Becker, E.W. Micro-algae as a source of protein. *BIOTECHNOL ADV*, **2006**; *25*:207–210; DOI: 10.1016/j.biotechadv.2006.11.002.
- Fox, J.M.; Zimba, P.V. Minerals and Trace Elements in Microalgae. *Microalgae in Health and Disease Prevention*, **2018**; *8*:177–193. ISBN: 9780128114056
- Jiménez-Escrig, A.; Cambrodón, I.G. Evaluación nutricional y efectos fisiológicos de macroalgas marinas comestibles. *Arch Latinoam Nutr*, **1999**; *49*(2):114–20.
- Gómez-Ordóñez, E. Evaluación nutricional y propiedades biológicas de algas marinas comestibles. Estudios in vitro e in vivo. *Tesis Doctoral*. Universidad Complutense de Madrid, **2013**. URL: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/20162/>
- Wells, M.L.; Potin, P.; Craigie, J.S.; Raven, J.A.; Merchant, S.S.; Helliwell, K.E.; et al. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *J Appl Phycol*, **2017**; *29*(2):949–82; DOI: 10.1007/s10811-016-0974-5.
- Jimenez-Escrig, A.; Sanchez-Muniz, F.J. Dietary fibre from edible seaweeds: chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nutr Res*, **2000**; *20*:585–98; DOI: 10.1016/S0271-5317(00)00149-4.
- Nicholson, J.K.; Holmes, E.; Kinross, J.; Burcelin, R.; Gibson, G.; Jia, W.; Pettersson, S. Host-gut microbiota metabolic interactions. *Science*, **2012**; *336*(6086):1262–7; DOI: 10.1126/science.1223813.
- MacArtain, P.; Gill, C.I.R.; Brooks, M.; Campbell, R.; Rowland, I.R. Nutritional value of edible seaweeds. *Nutr Rev*, **2007**; *65*(12):535–43; DOI: 10.1301/nr.2007.dec.535-543.
- Aranceta, J.; Arija, V.; Maíz, E.; Martínez, E.; Ortega, R.M.; Pérez-Rodrigo, C.; et al. Dietary Guidelines for the Spanish population (SENC, 2016); the new graphic icon of healthy food. *Nutr hosp*, **2016**; *33*:1–48; DOI: 10.20960/nh.827.
- Devillé, C.; Gharbi, M.; Dandriofosse, G.; Peulen, O. Study on the effects of laminarin, a polysaccharide from seaweed, on gut characteristics. *J Sci Food Agr*, **2007**; *87*(9):1717–25; DOI: 10.1002/jsfa.2901.
- Miao, H.Q.; Elkin, M.; Aingorn, E.; Ishai-Michaeli, R.; Stein, C.A.; Vlodyavsky, I. Inhibition of heparanase activity and tumor metastasis by laminarin sulfate and synthetic phosphorothioate oligodeoxynucleotides. *Int J Cancer*, **1999**; *83*(3):424–31; DOI: 10.1002/(sici)1097-0215(19991029)83:3<424::aid-ijc20>3.0.co;2-l.
- Brownlee, I.A.; Allen, A.; Pearson, J.P.; Dettmar, P.W.; Havler, M.E.; Atherton, M.R.; et al. Alginate as a source of dietary fiber. *Crit Rev Food Sci Nutr*, **2005**; *45*(6):497–510; DOI: 10.1080/10408390500285673.

25. Yuan, H.; Song, J.; Li, X.; Li, N.; Dai, J. Immunomodulation and antitumor activity of kappa-carrageenan oligosaccharides. *Cancer Lett*, **2006**;243(2):228-34; DOI: 10.1016/j.canlet.2005.11.032. 736
737
26. Figueroa, J.M.; et al. Efficacy of a nasal spray containing Iota-Carrageenan in the prophylaxis of COVID-19 in hospital personnel dedicated to patients care with COVID-19 disease. *MedRxiv*, **2021** (available at: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.04.13.21255409v>); DOI: 10.1101/2021.04.13.21255409. 738
739
740
27. Fogliano, V.; Andreoli, C.; Martello, A.; Caiazzo, M.; Lobosco, O.; Formisano, F.; et al. Functional ingredients produced by culture of *Koliella antarctica*. *Aquaculture*, **2010**;299(1-4):115-20; DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.11.008. 741
742
28. Borowitzka, M.A. High-value products from microalgae-their development and commercialisation. *J Appl Phycol*, **2013**;25:743-56; DOI: 10.1007/s10811-013-9983-9. 743
744
29. Voshall, A.; Christie, N.T.M.; Rose, S.L.; Khasin, M.; Van Etten, J.L.; Markham, J.E.; Riekhof, W.R.; Nickerson, K.W. Sterol Biosynthesis in Four Green Algae: A Bioinformatic Analysis of the Ergosterol Versus Phytosterol Decision Point. *J Phycol*, **2021**:1-13; DOI: 10.1111/jpy.13164. 745
746
747
30. Narayan, B.; Hou, C.T.; Shaw, J.F. Composition, Functionality and Potential Applications of Seaweed Lipids. *Biocatalysis and bioenergy*, **2008**;26:463-490. ISBN: 978-0-470-13404-7. 748
749
31. Khotimchenko, S.; Vaskovsky, V.E.; Titlyanova, T. Fatty acids of marine algae from the pacific coast of North California. *Bot Mar*, **2002**;45(1):17-22; DOI: 10.1515/BOT.2002.003. 750
751
32. Polat, S.; Ozogul, Y. Biochemical composition of some red and brown macro algae from the Northeastern Mediterranean Sea, *Int J Food Sci and Nutr*, **2008**;59:7-8, 566-572; DOI: 10.1080/09637480701446524. 752
753
33. Lopes, G.; Sousa, C.; Bernardo, J.; Andrade, P.B.; Valentão, P.; Ferreres, F.; Mouga, T. Sterol profiles in 18 macroalgae of the portuguese coast. *J Phycol*, **2011**;47(5):1210-8; DOI: 10.1111/j.1529-8817.2011.01028.x. 754
755
34. Ferran, A.; Zamora, R.; Cervera, P. Tablas de composición de alimentos del CESNID. McGraw-Hill: Madrid, España, **2004**. ISBN: 9788448605902 756
757
35. Habib, M.A.B.; Parvin, M.; Huntington, T.C.; Hasan, M.R. A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*. No. 1034. FAO, Rome, Italy, **2008**. (available at: <http://www.fao.org/3/i0424e/i0424e00.htm>) 758
759
760
36. Murata; Masakazu; Nakazoe; Jun-ichi. Production and Use of Marine Algae in Japan. *Jpn. Agric. Res. Q.*, **2001**; 35:281-290. 761
37. Fleurence, J.L. Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. *J Food Sci Technol*, **1999**;10:25-28; DOI: 10.6090/jarq.35.281. 762
763
38. Grosshagauer, S.; Kraemer, K.; Somoza, V. The True Value of Spirulina. *J Agricul Food Chem*, **2020**;68:4109-4115; DOI: 10.1021/acs.jafc.9b08251. 764
765
39. EFSA (European Food Safety Authority) Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for cobalamin (vitamin B12). *EFSA Journal*, **2015**;13(7):4150. 766
767
40. Randall, E.M.; Todd, W.P.; Jay, U. Nutritional Supplementation with *Chlorella pyrenoidosa* Lowers Serum Methylmalonic Acid in Vegans and Vegetarians with a Suspected Vitamin B12 Deficiency. *J. Med. Food*, **2015**;12:1357-1362; DOI: 10.1089/jmf.2015.0056. 768
769
770
41. Bito, T.; Okumura, E.; Fujishima, M.; Watanabe, F. Potential of *Chlorella* as a Dietary Supplement to Promote Human Health. *Nutrients*, **2020**;12(9):2524; DOI: 10.3390/nu12092524. 771
772
42. Bito, T.; Bito, M.; Asai, Y.; Takenaka, S.; Yabuta, Y.; Tago, K.; Ohnishi, M.; Mizoguchi, T.; Watanabe, F. Characterization and Quantitation of Vitamin B12 Compounds in Various *Chlorella* Supplements. *J Agric Food Chem*, **2016**;64(45):8516-8524; DOI: 10.1021/acs.jafc.6b03550. 773
774
775
43. Matos, J.; Cardoso, C.; Bandarra, N.M.; Afonso, C. Microalgae as healthy ingredients for functional food: a review. *FOOD FUNCT*, **2017**;8: 2672-2685; DOI: 10.1039/c7fo00409e. 776
777
44. Martínez-Hernández, G.B.; Castillejo, N.; Carrión-Monteagudo, M.D.M.; Artés, F.; Artés-Hernández, F. Nutritional and bioactive compounds of commercialized algae powders used as food supplements. *Food Sci Technol Int*, **2018**; 24(2):172-182; DOI: 10.1177/1082013217740000. 778
779
780
45. Rupérez, P. Mineral content of edible marine seaweeds. *Food Chem.*, **2002**: 79:23-26; DOI: 10.1016/S0308-8146(02)00171-1. 781
46. ACSA. Estudio de la presencia de metales pesados y yodo en algas destinadas al consumo humano. Evaluación del riesgo asociado y su contribución a la dieta total, **2020**. 782
783
47. National Food Institute; Technical University of Denmark; Monteiro, MS; Sloth, J; Holdt, S; Hansen M. Analysis and Risk Assessment of seaweed. *EFSA journal*, **2019**;17(52):170915; DOI: 10.2903/j.efsa.2019.e170915. 784
785
48. Recomendación (UE) 2018/464 de la comisión de 19 de marzo de 2018 relativa al control de metales y yodo en las algas marinas, las plantas halófilas y los productos a base de algas marinas. Official Journal of the European Union, **2018**, L78/16. 786
787
49. DRV Finder EFSA. Available online: <https://efsa.gitlab.io/multimedia/drvs/index.htm> (accessed on 1 April 2021). 788
50. AESAN. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) relativo a la evaluación del riesgo asociado a la posible presencia de arsénico en algas destinadas al consumo humano, **2009**. Revista del Comité Científico nº10, Numero de referencia: AESAN-2009-10 (available at: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_comite/ARSENICO_ALGAS.pdf). 789
790
791
792