
PRESÈNCIA DE COMPOSTOS D'ARSÈNIC EN ALGUES COMESTIBLES

PRESENCE OF ARSENIC COMPOUNDS IN EDIBLE SEAWEEDS

Luis Salvador Fernández

Departament de Nutrició, Ciències de l'Alimentació i Gastronomia

Facultat de Farmàcia i Ciències de l'Alimentació

Universitat de Barcelona

Avda. Prat de la Riba, 171, 08921 Sta. Coloma de Gramenet, Barcelona

Treball Fi de Grau

Ciència i Tecnologia dels Aliments

Curs 2018-2019

Tutora: Dolores Barrón Bueno

Revista: Food Chemistry



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

1 **Resum**

2 Les algues són un aliment tradicional en molts països del continent asiàtic, com per exemple la Xina
3 i el Japó. L'interès actual per la cuina oriental ha introduït aquest aliment a la nostra dieta, però
4 aquest interès ve acompanyat d'una preocupació, ja que, les algues filtren l'aigua de mar i assimilen
5 l'arsènic natural present. L'arsènic inorgànic és més tòxic que l'arsènic orgànic, tot i ser aquest últim
6 el més abundant en la majoria d'algues. L'arsènic assimilat es transforma per l'alga en diferents
7 espècies, trobant entre d'altres els arsenosucres. Per això es requereixen tècniques d'anàlisi
8 senzilles, ràpides i fiables per determinar aquests compostos de manera rutinària. Actualment, es
9 comença a establir legislació sobre arsènic en algues en diversos països. De totes maneres, el
10 consum d'algues marines no suposa un risc elevat per a la nostra salut a les quantitats consumides
11 i a les concentracions d'arsènic acumulat en la majoria d'algues.

12 **Paraules clau:** Arsènic, algues marines, arsènic inorgànic, arsenosucres, mètodes analítics.

13 **Abstract**

14 Seaweeds have been a traditional food in many countries of the Asiatic continent, such as China and
15 Japan. Current attraction for oriental food has introduced seaweeds into our diet, although this
16 attraction is followed by concern as seaweeds filter sea water and it assimilate natural arsenic
17 present. Inorganic arsenic presents more toxicity than organic arsenic, although the latter is the
18 main compound in most seaweeds. Assimilated arsenic is metabolized to different species by them,
19 arsenosugars are found among other species. Therefore, simpler, quicker and more reliable
20 analytical methods to daily determine such compound are needed. Nowadays, some countries are
21 beginning to establish legislation on seaweeds arsenic. Nevertheless, the consumption of seaweeds
22 is not a high risk for our health at the intake quantities and arsenic concentrations accumulated in
23 most of them.

24 **Keywords:** Arsenic, seaweed, inorganic arsenic, arsenosugars, analytical methods.

25 **1. Introducció**

26 Les algues marines són organismes pluricel·lulars o unicel·lulars que viuen en medis aquàtics.
27 Aquests són organismes fotoautòtrofs, és a dir, tenen pigments fotosintètics que amb l'ajut de la
28 llum solar i els nutrients presents en l'aigua duen a terme la fotosíntesi i obtenen el seu propi aliment
29 (Dhargalkar & Kavlekar Devanand, 2004). Generalment es parla de macroalgues, les quals són
30 organismes pluricel·lulars i comunament reconegudes quan es parla d'algues marines comestibles.
31 Aquestes es poden dividir en tres grans grups: *Phaeophyceae* (algues marrons), *Rhodophyceae*
32 (algues vermelles) i *Chlorophyceae* (algues verdes) (Figures A, B i C respectivament, annex). A part
33 de la diferenciació pel seu color, el qual és una diferència obvia, també divergeixen en
34 característiques estructurals i bioquímiques que inclouen els pigments fotosintètics, composició de
35 la paret cel·lular, mida, presència o absència de flagels o estructura del cloroplast entre d'altres
36 (Guiry, 2019).

37 Des de fa molts segles, les algues marines han format part de la dieta tradicional en la cultura
38 asiàtica, principalment al Japó, a la Xina i a la República de Corea, essent aquests els grans
39 consumidors (McHugh; FAO, 2003). En els últims anys, ha augmentat l'interès per la cuina Japonesa,
40 especialment el sushi, a molts països d'Europa i d'Amèrica. A més a més, hi ha una gran demanda
41 per part de la indústria alimentària i altres indústries dels extractes de carragenat, agar-agar i alginat
42 principalment provinents de les algues. Tot això ha fet augmentar el mercat global de les algues
43 marines (Ferdouse, Holdt, Smith, Murúa, & Yang; FAO, 2018). Per altra banda, actualment els majors
44 productors d'aquestes són la Xina (14,387 MMt en pes viu) i Indonèsia (11,631 MMt en pes viu).
45 Considerant la producció mundial d'algues marines, que es troba al voltant dels 30 milions de tones
46 en pes viu, entre ambdós països assoleixen més del 85%. A la Xina la major part de la producció és
47 utilitzada pel consum directe mentre que, a Indonèsia la major part és utilitzada per l'extracció de
48 carragenat. En quant a les algues marines més produïdes, com es pot comprovar en la Taula 1

49 (Graziano da Silva; FAO, 2018), es podrien considerar les següents espècies: *Eucheuma spp.*,
50 *Laminaria japonica* (Kombu), *Gracilaria spp.*, *Undaria pinnatifida* (wakame), *Kappaphycus alvarezii*,
51 *Porphyra spp.* (Nori) i *Sargassum fusiforme* (Hijiki). Les algues comestibles són, principalment, una
52 gran font de minerals i vitamines, però també tenen altres aplicacions com pinsos per animals,
53 fertilitzants, productes farmacèutics, cosmètics, biocombustible, i en medicina per tractar dèficits
54 de iode i com a vermícid entre d'altres (Graziano da Silva; FAO, 2018).

55 **TAULA 1**

56 Com qualsevol altre aliment, les algues marines causen una certa preocupació als consumidors. Un
57 dels principals perills, del qual s'està investigant bastant actualment és la presència d'arsènic.
58 L'arsènic és un metal·loide que forma part de l'escorça terrestre de manera natural. A part, l'ús
59 antropogènic d'aquest augmenta la seva proporció en la natura. La principal font d'exposició és
60 l'aigua i com a conseqüència, tots els aliments en contacte amb aquesta aigua contaminada es
61 trobaran contaminats per aquest metal·loide (Adhanom; OMS, 2018). Per tant, les algues al trobar-
62 se en contacte directe amb l'aigua i ser organismes autòtrofs i bons filtradors, absorbeixen i
63 acumulen certes quantitats d'arsènic, en diferents espècies químiques. La Taula 2, mostra les
64 principals espècies químiques d'arsènic que es troben bioacumulades en les algues marines.

65 **TAULA 2**

66 Les principals espècies que es troben en l'aigua són les inorgàniques As (III) i As (V), sobretot aquesta
67 última. L'As (V) és absorbit per les algues pels transportadors de fosfat, ja que, actua com un
68 competidor per la seva semblança estructural amb aquest. Un cop a l'interior, s'inicia el procés de
69 biometabolització d'aquest arsènic com a via de desintoxicació per tal de reduir la toxicitat
70 d'aquestes espècies. Aquest noves espècies majoritàriament organoarsèniques, solen romandre
71 acumulades en el seu organisme en unes concentracions des de 1000 a 50000 vegades més elevades
72 que en l'aigua (Hasegawa et al., 2019). Depenent de l'alga, la via de metabolització de l'arsènic serà

73 diferent, essent els arsenosucre les espècies més abundants (80-90% de l'arsènic total) en la
74 majoria de les algues (Bralatei et al., 2017).

75 La toxicitat d'aquest metal·loide, varia segons l'especiació d'aquest. Segons la International Agency
76 for Research on Cancer (IARC), l'arsènic inorgànic (sumatori de As III i As V) és un carcinogen del
77 Grup 1 i les espècies metilades DMAA i MMAA són del Grup 2B, per tant les espècies inorgàniques
78 són les més tòxiques (Tomatis; IARC, 2012). El 90% de l'arsènic inorgànic és absorbit en el tracte
79 gastrointestinal, mentre que les espècies orgàniques se n'absorbeix un 75-85%. Un cop absorbit es
80 distribueix als diferents teixits vehiculat per la sang (Danzon; OMS, 2000). Seguidament, es produeix
81 la biotransformació o metabolització d'aquest arsènic inorgànic a arsènic orgànic principalment en
82 el fetge. Aquest procés es basa en la reducció d'arsènic V a arsènic III i la metilació d'aquest últim,
83 encara que també es poden donar diverses reaccions com la reducció, l'oxidació i més metilacions.
84 L'arsènic inorgànic també pot distribuir-se a la bufeta urinària, ronyons, pulmons i pell entre
85 d'altres. Finalment, s'obtenen espècies orgàniques com DMA o MMA que s'excreten ràpidament
86 per l'orina, principal via d'eliminació. L'orina conté aproximadament un 10-30% d'arsènic inorgànic,
87 un 10–20% de MMA i un 60–80% de DMA (Costa, 2019) i (Zhou & Xi, 2018). La toxicocinètica de
88 l'arsènic orgànic un cop absorbit no es coneix tan detalladament. Tot i així, es sap que l'AB
89 s'absorbeix en el tracte gastrointestinal i s'excreta ràpidament sense patir alteracions. Els
90 arsenosucre i arsenolípid es degraden generant altres compostos orgànics més petits, DMA
91 majoritàriament. La Figura 1, mostra els principals metabòlits trobats en l'orina, després del consum
92 d'unes determinades espècies d'arsènic (Taylor et al., 2017a). Els arsenosucre romanen més temps
93 en l'organisme, ja que s'absorbeixen i s'eliminen més lentament que els altres dos compostos. Es
94 creu que es metabolitzen principalment en l'intestí i en el fetge, però es requereixen més estudis
95 per confirmar-ho. D'altre banda, els arsenolípid s'absorbeixen molt ràpid en el tracte intestinal i es

96 metabolitzen abans de ser excretats però, no hi ha suficients dades respecte la metabolització
97 d'aquests (Taylor et al., 2017a).

98

FIGURA 1

99 Actualment, cap reglament europeu determina el límit màxim permès d'arsènic en algues
100 comestibles, encara que en 2018 la comissió europea va dictaminar una recomanació, on els Estats
101 membres havien d'avaluar i controlar la presència d'arsènic i altres minerals per establir
102 rigorosament aquests límits en algues i plantes halòfiles durant els anys 2018, 2019 i 2020
103 (Andriukaitis; Diari oficial de la Unió Europea, 2018). En alguns països però, ja tenen establerts uns
104 límits màxims provisionals, com en el cas de França on estableix el límit en 3 mg/kg iAs (Bralatei et
105 al., 2017). En altres països com Hong-Kong el límit està establert en 1.4 mg/kg i en Austràlia i Nova
106 Zelanda en 1 mg/kg (HO Yuk-yin, 2018) (Quiggin, 2017).

107 Per tal de poder realitzar una bona avaluació del arsènic i poder establir uns límits d'aquest en les
108 algues, cal determinar l'especiació d'arsènic en algues. Aquesta tasca no és gens fàcil per la
109 complexitat de la matriu. Així que es requereixen uns mètodes principalment de separació i detecció
110 per poder dur a terme aquesta determinació d'espècies d'arsènic. La tècnica més utilitzat és HPLC-
111 ICP-MS. Actualment, hi ha un gran interès per trobar mètodes més senzills, barats i amb la mateixa
112 resolució i fiabilitat per poder ser aplicats de manera rutinària. (Reis & Duarte, 2018)

113 Aquest article de revisió es basarà en fer una recopilació de les tècniques de separació i detecció
114 més utilitzats en el últims 5 anys. D'altra banda, es recolliran les principals algues utilitzades en
115 aquests estudis i es compararan segons les espècies d'arsènic que contenen i les seves
116 concentracions.

117 **2. Material i mètodes**

118 La metodologia emprada per fer el recull dels principals articles relacionats amb la presència de
119 compostos d'arsènic en algues comestibles en els últims cinc anys ha estat la següent:

120 Es va buscar en diferents bases de dades, concretament en PubMed i Scopus. En aquestes bases de
121 dades es va limitar la recerca segons la data de publicació i la disponibilitat del text. Per la primera
122 limitació es va seleccionar els últims cinc anys (2015-2019) i per la segona limitació es va seleccionar
123 el text complet. Les recerques que es van fer en aquestes bases de dades van ser: arsenic AND
124 seaweed, arsenic AND algae, arsenic AND (seaweed OR algae), arsenic AND "marine algae", arsenic
125 AND speciation, arsenic AND speciation AND seaweed, arsenic AND biotransformation, arsenic AND
126 biotransformation AND seaweed, arsenic AND determination, arsenic AND determination AND
127 seaweed, arsenobetaine AND seaweed, "speciation of arsenic" AND seaweed.

128 A part de realitzar la recerca en base de dades també s'ha requerit de pàgines web o altres d'interés
129 com per exemple: Food and Agriculture Organization (FAO), International Agency for Research on
130 Cancer (IARC), Organització Mundial de la Salut (OMS), Algaebase, The seaweed site, Seaweeds - A
131 field Manual, Diari Oficial de la Unió Europea, Centre for Food Safety, The Federal Register of
132 Legislation.

133 **3. Resultats i discussió**

134 Els estudis més rellevants realitzats en els últims 5 anys ordenats cronològicament per l'any de
135 publicació, es mostren en la Taula 3. Aquesta mostra les tècniques de separació-detecció utilitzades.

136 **TAULA 3**

137 La tècnica utilitzada per la detecció i quantificació de l'arsènic total en les algues de tots els estudis
138 d'aquest recull és l'espectrometria de masses amb plasma acoblat inductivament (ICP-MS). Com a
139 tècnica de separació-detecció de preferència per l'especiació d'arsènic, s'utilitza la cromatografia
140 líquida (CL) o cromatografia líquida d'alt rendiment (HPLC) seguit d'un espectròmetre de masses
141 amb plasma acoblat inductivament (ICP-MS) (Yu et al., 2015), (Maulvault et al., 2015), (Khan et al.,
142 2015), (Wang et al., 2015), (Petursdottir et al., 2015), (Foster & Maher, 2016), (Taylor & Jackson,
143 2016), (Ronan et al., 2017), (Taylor et al., 2017b), (Wolle & Conklin, 2018a), (Wolle & Conklin 2018b),
144 (Yu et al., 2018) i (Amin et al., 2018). Yu et al. (2015), a més van requerir d'un espectròmetre de
145 masses amb una font d'ionització per electrospray amb un analitzador de temps de vol i amb
146 trampa d'ions (ESI-IT-TOF) per identificar certes espècies d'arsènic com els arsenosucre. També van
147 requerir d'una cromatografia líquida seguida d'un anàlisi instrumental d'activació de neutrons (LC-
148 INAA) per quantificar els arsenosucre i altres espècies identificades. Wang et al. (2015), per tal
149 d'afavorir la identificació d'arsenosucre, també va utilitzar HPLC acoblat a un espectròmetre de
150 masses amb analitzador de temps de vol (ESI-TOF/MS). Petursdottir et al. (2015), addicionalment
151 va fer ús d'HPLC acoblat a un espectròmetre de masses amb una font d'ionització per electrospray
152 (ESI-MS) per facilitar la identificació i quantificació d'arsenosucre i arsenolípid. A més, va emprar
153 generador d'hidrurs (HG) seguit d'un espectròmetre de masses amb plasma acoblat inductivament
154 (ICP-MS) per facilitar la detecció selectiva de l'arsènic inorgànic. Yu et al. (2018) i Amin et al. (2018),
155 també van emprar HPLC acoblat a un espectròmetre de masses en tàndem (ESI-MS-MS) i HPLC
156 acoblat a un espectròmetre de masses en tàndem d'alta resolució (ESI-HR-MS-MS) per ajudar a la

157 diferenciació d'arsenolípids. Fiamégkos et al. (2016), va utilitzar un espectrometre d'absorció
158 atòmica de generació d'hidrurs per injecció de flux (FI-HG-AAS) per identificar i determinar el
159 contingut d'arsènic inorgànic. Pétursdóttir & Gunnlaugsdóttir (2019) i Marschner et al. (2019),
160 també utilitzen un generador d'hidrurs però en aquest cas amb un plasma acoblat inductivament
161 (HG-ICP-MS) per la determinació del contingut d'arsènic inorgànic. Aquest és un bon mètode per
162 fer una quantificació ràpida i fiable, però en algues amb concentracions baixes d'arsènic
163 inorgànic, obté una petita sobreestimació comparat amb altres mètodes de referència. Zhang et al.
164 (2017), va emprar una halogenació de brom i extracció en fase sòlida no polar en línia (SPE) seguida
165 d'una espectrometria de fluorescència atòmica de generació d'hidrur (HG-AFS) per quantificar
166 l'arsènic inorgànic. Bralatei et al. (2017), va utilitzar un mètode de desplegament de camp (FDM), el
167 qual pot quantificar l'arsènic inorgànic in situ ràpidament amb resultats comparables amb altres
168 mètodes.

169 La Taula 4 mostra per diferents algues analitzades les concentracions d'arsènic total i de diverses
170 espècies químiques trobades en aquestes.

171

TAULA 4

172 Les algues marrons han estat clarament les més analitzades en aquest recull d'articles. Les espècies
173 analitzades són: *Laminaria digitata*, *Saccharina latissima*, *Laminaria japonica*, *Undaria pinnatifida*,
174 *Sargassum fusiforme*, *Sargassum fulvellum*, *Ectocarpus sp.*, *Elachista sp.*, *Pylaiella littoralis*,
175 *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus*, *Fucus spiralis*, *Colpomenia marina*, *Eisenia bicyclis*,
176 *Sargassum patens*, *Agarum clathratum*, *Alaria esculenta*, *Laminaria longicuris*, *Lobophora sp.*,
177 *Hormosira banksii*, *Ecklonia radiata*, *Macrocystis pyrifera*, *Padina fraseri*, *Durvillaea potatorum*.
178 D'entre totes aquestes cal destacar *Laminaria digitata*, *Laminaria japonica* (kombu), *Undaria*
179 *pinnatifida* (wakame), *Sargassum fusiforme* (hijiki) i *Ascophyllum nodosum* per ser les més
180 utilitzades.

181 Maulvault et al. (2015) i Marschner et al. (2019), obtenen resultats bastant complementaris
182 respecte als continguts d'arsènic en l'alga *Laminaria digitata*. Maulvault et al. (2015), troben valors
183 de 56.1 ± 0.4 a 72.9 ± 1.1 mg/kg i de 0.08 ± 0.01 a 15.4 ± 0.2 mg/kg d'As total i d'As inorgànic
184 respectivament, mentre que en Marschner et al. (2019) els valors són de 41 ± 19 mg/kg i 20 ± 1
185 mg/kg d'As total i d'As inorgànic respectivament. Taylor & Jackson (2016), en la mateixa línia als
186 altres dos estudis per una alga d'aquesta espècie, assoleixen uns 50.38 ± 11.91 mg/kg i 8.32 ± 7.67
187 mg/kg d'As total i d'As inorgànic respectivament. No obstant, també mostren unes concentracions
188 elevades d'As total (106.73 mg/kg) i baixes d'As inorgànic ($<LOD$ mg/kg) en un alga d'aquesta
189 mateixa espècie però recollida en una altra zona. Ronan et al. (2017), van fer un estudi per avaluar
190 la quantitat d'arsènic total i inorgànic en cada part de l'alga. En aquest, declaren uns resultats de 36
191 ± 0.33 a 131 ± 3.1 mg/kg i de 2.2 a 87 mg/kg d'As total i d'As inorgànic respectivament, tenint en
192 compte la tija principal, el meristema, la fulla jove, la fulla intermèdia, la fulla distal i la fulla distal
193 en decadència. Bralatei et al. (2017), corroboren els resultats de l'estudi anterior tot seguint el
194 mateix procediment però amb una altra tècnica de detecció, obtenint una mitjana d'As inorgànic de
195 34 mg/kg. A més a més, Taylor & Jackson (2016), també quantifiquen el contingut d'arsenosucres,
196 obtenint un total de 58 mg/kg, essent l'AsSugSO₃ el més abundant amb 46.09 mg/kg per un dels
197 exemplars. Per altres exemplars d'aquesta mateixa espècie recollides en una altra zona van assolir
198 uns 26 ± 17 mg/kg, essent AsSugPO₄ i l'AsSugSO₃ els més abundants amb un contingut similar de
199 10.63 ± 8.71 mg/kg i 10.23 ± 7.61 mg/kg respectivament. Aquestes concentracions d'arsenosucres
200 suposarien els 50% del contingut total d'arsènic en aquesta espècie d'alga.

201 Marschner et al. (2019) i Taylor et al. (2017b) contemplen resultats bastant equivalents respecte a
202 l'espècie d'alga *Laminaria japonica*. Marschner et al. (2019), mostren valors de 68.5 ± 0.6 mg/kg i
203 0.160 ± 0.005 mg/kg d'As total i d'As inorgànic respectivament, mentre que Taylor et al. (2017b),
204 assoleixen valors de 51.2 ± 11.6 mg/kg i $<LOD$ d'As total i d'As inorgànic respectivament. Taylor et

205 al. (2017b), quantifiquen el contingut d'arsenosucre, obtenint un total de 46 ± 25.5 mg/kg, essent
206 l'AsSugSO₃ el principal amb 34.9 ± 21.7 mg/kg. També va determinar el contingut de DMA, obtenint
207 un valor de 0.51 ± 0.18 mg/kg. El contingut d'arsenosucre en aquest estudi suposaria el 90% de
208 l'arsènic total. Wolle & Conklin (2018b), mostren un contingut d'arsènic total de la meitat ($26.5 \pm$
209 0.8 mg/kg) i un contingut d'arsènic inorgànic del doble (0.35 ± 0.032 mg/kg) respecte els 2 estudis
210 anteriors. A més, el contingut d'arsenosucre és de 13 ± 0.5 mg/kg representant el 50% de l'arsènic
211 total, inferior al obtingut per Taylor et al. (2017b). En canvi, el contingut de DMA resultant és de
212 0.427 ± 0.03 mg/kg, similar al valor de l'estudi anterior. D'altra banda hi ha dos estudis que
213 s'allunyen encara més dels resultats obtinguts pels 3 estudis anteriors. Un d'aquests, Bralatei et al.
214 (2017), obtenen resultats contraris entre si, possiblement, és degut a que utilitza tres mostres
215 d'aquesta espècie d'alga recol·lectades en diferents zones geogràfiques. Aquest assoleix continguts
216 d'arsènic total des de 19 ± 0.8 a 115 ± 6.7 mg/kg i d'arsènic inorgànic, en concordança amb la resta
217 d'estudis, des de 0.07 ± 0.05 a 0.12 ± 0.04 mg/kg. L'altre, Khan et al. (2015), obtenen resultats
218 clarament inferiors als altres estudis. Aquest mostra uns continguts d'arsènic total de 3.04 ± 1.47
219 mg/kg i arsènic inorgànic <LOD. La causa d'aquestes quantitats tan baixes d'arsènic comparat amb
220 els altres estudis, és degut a la diferent base de càlcul (base humida), en la qual estan expressats els
221 resultats. Yu et al. (2018), mostren un contingut d'arsènic total de 55.0 ± 0.6 mg/kg, en consonància
222 als dos primers estudis. En canvi, no quantifiquen les espècies d'arsènic identificades, per tant, no
223 es pot comparar amb la resta. Aquestes espècies identificades van ser de la família dels arsenolípidis.
224 Taylor et al. (2017b) i Marschner et al. (2019), assoleixen uns resultats similars respecte a l'espècie
225 d'alga *Undaria pinnatifida*. Taylor et al. (2017b), obtenen un contingut de 34.7 ± 15.8 mg/kg d'As
226 total i <LOD d'As inorgànic. En aquest, també determinen la quantitat d'arsenosucre i DMA. El
227 contingut d'arsenosucre va ser de 0.75 ± 0.84 mg/kg, essent l'AsSugOH el més abundant amb 0.63
228 ± 0.67 mg/kg. La quantitat de DMA determinada va ser de 0.15 ± 0.17 mg/kg. Marschner et al.

229 (2019), mostren continguts d'As total de 31.1 ± 0.2 mg/kg. El valor d'As inorgànic de 0.150 ± 0.005
230 mg/kg, difereix una mica de l'estudi anterior però, això és degut a la sobreestimació obtinguda
231 d'aquest per la tècnica de detecció utilitzada. Bralatei et al. (2017), mostren continguts de 48 ± 5.4
232 a 76 ± 2.1 mg/kg d'As total i de 0.05 ± 0.02 a 0.06 ± 0.02 mg/kg d'As inorgànic, valors més elevats
233 d'As total respecte als dos estudis anteriors. En aquest estudi s'utilitzen 3 mostres d'aquesta alga
234 recollida en tres zones diferents, per això hi ha una certa variabilitat en el contingut d'arsènic. Khan
235 et al. (2015), obtenen valors de 1.84 ± 0.81 mg/kg i <LOD d'As total i As inorgànic respectivament.
236 Aquests valors són clarament més baixos respecte als altres estudis, ja que, els resultats estan
237 expressats en base humida. També quantifiquen el DMA, obtenint un contingut de 0.24 ± 0.13 mg/kg.
238 L'alga de l'espècie *Sargassum fusiforme* és de gran interès pel seu alt contingut en arsènic inorgànic.
239 Zhang et al. (2017), Bralatei et al. (2017) i Marschner et al. (2019), obtenen resultats bastant similars
240 respecte al contingut d'arsènic inorgànic en aquesta espècie. En el contingut d'arsènic total però, hi
241 ha més dissimilitut. Zhang et al. (2017), mostren continguts de 57.5 ± 1.40 mg/kg d'As inorgànic i no
242 quantifica l'arsènic total. Bralatei et al. (2017), obtenen valors de 53 ± 7.4 a 76 ± 20 mg/kg d'As
243 inorgànic i de 135 ± 5.5 a 234 ± 0.9 mg/kg d'As total. Marschner et al. (2019), quantifiquen uns
244 continguts de 42.3 ± 0.1 mg/kg d'As inorgànic i 69.8 ± 0.3 mg/kg d'As total. Taylor et al. (2017b) i
245 Fiamegkos et al. (2016), obtenen resultats similars respecte a As inorgànic i més divergents respecte
246 a l'arsènic total. Encara que, aquests dos estudis mostren resultats inferiors d'As inorgànic respecte
247 els tres estudis anteriors. Fiamegkos et al. (2016), obtenen continguts de 10.1 ± 0.5 mg/kg d'As
248 inorgànic i 35.8 ± 0.9 mg/kg d'As total. Taylor et al. (2017b), mostren quantitats de 19.83 mg/kg d'As
249 inorgànic i 83.7 mg/kg d'As total. Aquest també quantifica el contingut d'arsenosucres i DMA. El
250 contingut total d'arsenosucres és de 0.59 mg/kg, essent l'AsSugOH el majoritari amb 0.38 mg/kg. La
251 quantitat de DMA és de 0.89 mg/kg. Per altre banda, Khan et al. (2015), obtenen resultats inferiors
252 als altres estudis, ja que, la base utilitzada per expressar els resultats és base humida. Els valors són

253 de 4.49 ± 0.65 mg/kg d'As total, 2.350 ± 1.55 mg/kg d'As inorgànic i 0.68 ± 0.33 mg/kg de DMA.

254 Foster & Maher (2016), fan referència a un alga del gènere *Sargassum* sense especificar l'espècie

255 d'aquest. Els resultats obtinguts d'As total són de 120.4 mg/kg, reforçant els resultats obtinguts per

256 Bralatei et al. (2017).

257 Pétursdóttir & Gunnlaugsdóttir (2019) i Taylor & Jackson (2016), obtenen resultats bastant similars

258 respecte l'espècie d'alga *Ascophyllum nodosum*. Pétursdóttir & Gunnlaugsdóttir (2019), mostren

259 continguts de 25.9 ± 0.3 a 44.7 ± 1.4 mg/kg d'As total i de 0.060 ± 0.002 a 0.195 ± 0.016 mg/kg d'As

260 inorgànic. Hi ha una certa variabilitat en el mateix estudi, ja que, s'analitzen unes quinze algues

261 d'aquesta espècie i cadascuna per triplicat. Taylor & Jackson (2016), obtenen concentracions de

262 23.14 ± 6.82 a 23.68 ± 4.33 mg/kg d'As total i de 0.06 ± 0.08 a 0.08 ± 0.03 mg/kg d'As inorgànic.

263 Aquests resultats són similars a l'estudi anterior respecte a As inorgànic, però s'obtenen valors

264 inferiors respecte a As total. Taylor & Jackson (2016), també quantifiquen els arsenosucres i el DMA.

265 El contingut total d'arsenosucres és de 8.92 ± 3.77 a 9.83 ± 2.42 mg/kg, essent l'AsSugSO₄ el més

266 abundant amb un contingut de 5.18 ± 2.79 a 5.65 ± 1.11 mg/kg. El contingut de DMA correspon als

267 valors de 0.21 ± 0.12 a 0.35 ± 0.11 mg/kg. Foster & Maher (2016), obtenen valors d'As total de 51

268 mg/kg, una mica superior als dos estudis anteriors i no quantifica l'As inorgànic. A més, determinen

269 el contingut d'un arsenosucres i diversos tio-arsenosucres. El contingut de l'AsSugOH és de 8.5 ± 1.3

270 mg/kg i el contingut total de tio-arsenosucres és de 0.3 ± 0.2 mg/kg, essent el tio-arsenosucres SO₃

271 el més abundant amb un contingut de 0.17 ± 0.03 mg/kg. Ronan et al. (2017), assoleixen uns valors

272 de 38 ± 6.4 a 111 ± 2.5 mg/kg d'As total i de 0.007 a 0.703 mg/kg d'As inorgànic. Hi ha bastanta

273 variabilitat entre els valors d'aquest estudi, ja que, aquest determina els continguts d'arsènic en

274 diferents parts de l'alga com la tija principal, el meristema, la fulla jove, la fulla intermèdia i la fulla

275 distal. Per tant, en algunes parts s'obté concentracions més altes que en un altra.

276 Les algues vermelles han estat les segones més analitzades però, amb una gran diferència amb les
277 primeres. Les espècies analitzades són: *Porphyra sp.*, *Palmaria palmata*, *Amphiroa anceps*,
278 *Martensia fragilis*, *Laurencia sp.*, *Corallina officinalis*, *Heterosiphonia japonica*, *Polyiphonia lanosa*,
279 *Chondrus crispus*, *Phyllophora pseudoceranooides* i *Gracliarina vermiculophylla*. D'entre totes
280 aquestes cal destacar *Porphyra sp.*, algunes espècies d'aquesta es coneixen com a Nori i *Palmaria*
281 *palmata* també coneguda com a Dulse.

282 Marschner et al. (2019), Taylor & Jackson (2016) i Taylor et al. (2017b), obtenen resultats similars
283 respecte a l'alga de l'espècie *Porphyra spp.* Marschner et al. (2019), assoleixen unes concentracions
284 de 18.5 ± 0.02 mg/kg d'As total i 0.106 ± 0.002 mg/kg d'As inorgànic. A la mateixa línia, Taylor &
285 Jackson (2016), obtenen continguts de 20.73 mg/kg d'As total i 0.12 mg/kg d'As inorgànic. En aquest
286 estudi, a més quantifiquen els arsenosucres i DMA. El contingut total d'arsenosucres és de 27.02
287 mg/kg, essent l'AsSugPO₄ el més abundant amb un valor de 24.98 mg/kg. Els arsenoscures
288 assoleixen un valor superior al valor de l'arsènic total, per tant, hi ha algun error ja que no pot haver
289 un compost d'arsènic amb un valor més gran que la suma de tots els compostos d'arsènic (As total).
290 La concentració de DMA obtingut és de 0.25 mg/kg. Taylor et al. (2017b), determinen un contingut
291 de 19.4 ± 4.2 mg/kg d'As total i 0.03 ± 0.01 mg/kg d'As inorgànic reforçant els dos estudis anteriors,
292 encara que el contingut d'As inorgànic és una mica inferior. En aquest estudi, també quantifiquen
293 els arsenosucres i DMA. El valor obtingut d'arsenosucres total és 8.56 ± 3.97 mg/kg de suposant
294 quasi el 50% de l'arsènic total, essent l'AsSugPO₄ el més abundant amb un contingut de 8.37 ± 3.84
295 mg/kg. El contingut de DMA obtingut és de 0.21 ± 0.20 mg/kg. D'altra banda, Bralatei et al. (2017),
296 obtenen unes concentracions d'As total una mica superiors als darrers estudis, essent el valor de 34
297 ± 1.3 a 43 ± 1.2 mg/kg. El contingut determinat d'As inorgànic és de 0.06 ± 0.06 a 0.25 ± 0.01 mg/kg,
298 el valor més alt és una mica superior als obtinguts pels estudis anteriors. Khan et al. (2015), obtenen
299 continguts d'As total i d'As inorgànic inferiors a la resta d'estudis, essent els valors de 2.07 ± 0.53

300 mg/kg i <LOD respectivament. També determinen el contingut de DMA, essent el valor de $0.085 \pm$
301 0.079 mg/kg. El baix valor de les concentracions d'As obtingut en aquest estudi, és degut a la
302 diferent base en la qual estan expressats els resultats (base humida).

303 Taylor et al. (2017b) i Taylor & Jackson (2016), són els únics estudis que utilitzen l'alga de l'espècie
304 *Palmaria palmata* i n'obtenen resultats bastant similars. Taylor et al. (2017b), mostren un contingut
305 de 12.1 mg/kg d'As total i <LOD d'As inorgànic. També determinen el contingut d'arsenosucre i
306 DMA. La concentració total determinada d'arsenosucre és de 10.7 mg/kg, essent l'AsSugPO₄ el més
307 abundant amb un contingut de 6.5 mg/kg. El contingut de DMA quantificat és de 0.45 mg/kg. En
308 concordança, Taylor & Jackson (2016), obtenen concentracions de 8.95 ± 4.80 mg/kg d'As total i
309 0.06 ± 0.11 mg/kg d'As inorgànic, la diferència amb el darrer estudi és ínfima. En aquest, també
310 quantifiquen el contingut d'arsenosucre i DMA. El valor del contingut total d'arsenosucre és de
311 7.55 ± 4.9 mg/kg, essent l'AsSugPO₄ el majoritari amb una concentració de 4.35 ± 3.22 mg/kg. La
312 concentració de DMA és de 0.96 ± 0.35 mg/kg. En ambdós estudis el contingut d'arsenosucre
313 suposa més del 84% de l'arsènic total.

314 Les algues verdes han estat les menys utilitzades en aquest recull d'estudis, únicament en dos
315 estudis. Possiblement pel seu baix contingut en arsènic comparat amb els altres dos tipus d'algues.

316 Les espècies analitzades són: *Ulva lactuca*, *Ulva prolifera*, *Codium lucasii*, *Chaetomorpha*
317 *picquotiana*, *Gayralia oxysperma* i *Cladophora subsimplex*. D'entre totes aquestes cal destacar *Ulva*
318 *lactuca* i *Codium lucasii*.

319 Taylor & Jackson (2016), és l'únic estudi que analitza l'alga de l'espècie *Ulva lactuca* recol·lectada
320 en dues zones diferents. En aquest estudi se n'obtenen unes concentracions per l'alga d'aquesta
321 espècie recol·lectada a New Hampshire de 5.34 mg/kg d'As total i 0.13 mg/kg d'As inorgànic. També
322 determinen el contingut total d'arsenosucre assolint un valor de 0.1 mg/kg, essent l'AsSugOH el més
323 abundant amb una concentració de 0.07 mg/kg. Per l'alga d'aquesta mateixa espècie però,

324 recol·lectada a Maine se n'obtenen uns valors de 4.13 mg/kg d'As total i 0.02 mg/kg d'As inorgànic.
325 També quantifiquen el contingut total d'arsenosucre obtenint un valor de 0.27 mg/kg, essent
326 l'AsSugPO₄ el majoritari amb un contingut de 0.15 mg/kg. L'alga d'aquesta espècie recol·lectada en
327 Maine assoleix uns valors inferiors respecte a arsènic total i inorgànic però, superiors respecte a
328 arsenosucre.

329 Foster & Maher (2016), és l'únic estudi que fa referència a l'alga de l'espècie *Codium lucasii*. Aquest
330 estudi mostra un valor d'As total de 8.2 mg/kg, l'arsènic inorgànic no es determina. També
331 determinen el contingut d'un arsenosucre i de tio-arsenosucre. El valor de l'únic arsenosucre
332 determinat (AsSugOH) és de 1.1 ± 0.2 mg/kg i els tio-arsenosucre van estar per sota del límit de
333 detecció.

334 A més hi ha alguns estudis que no especifiquen la espècie concreta d'alga. Yu et al. (2015),
335 determinen el contingut d'As total de Kelp essent de 29.4 ± 1.0 mg/kg i de Laver essent de 40.3 ± 1.4
336 mg/kg. A més quantifiquen el contingut total d'arsenosucre i DMA en kelp, obtenint uns valors de
337 20.79 ± 1.22 mg/kg i 0.465 ± 0.021 mg/kg respectivament. El kelp es podria referir a algues del
338 gènere *Laminaria* i el laver al gènere *Porphyra*, ja que, compara la eficiència d'extracció amb dues
339 algues d'aquests gèneres respectivament, referint-se a que les comparava amb algues similars.
340 Zhang et al. (2017), quantifiquen únicament el contingut d'As inorgànic en kelp, laver i una alga
341 sense determinar, essent els valors de 0.11 ± 0.01 a 0.46 ± 0.08 mg/kg, de 0.05 ± 0.03 a 0.20 ± 0.02
342 mg/kg i de 0.10 ± 0.03 mg/kg respectivament. Wang et al. (2015), mostren unes concentracions d'As
343 inorgànic d'una alga sense determinar entre 16.9 i 21.2 ± 1.9 mg/kg. També identifiquen dos
344 arsenosucre (AsSugOH i AsSugPO₄) i DMA però, no els van quantificar.

345 Els arsenolípid no tenen masses estudis en els quals es determini el seu contingut, encara que hi
346 ha alguns. Petursdottir et al. (2015), determinen arsenolípid en tres espècies d'alga diferents.
347 L'espècie *Ectocarpus sp.* va assolir un contingut d'arsenolípid total entre un 0.65 i 0.75 mg/kg,

348 essent el grup d'AsHC el majoritari. L'espècie *Elachista sp.* va obtenir uns valors d'arsenolípds total
349 de 1.25 mg/kg, essent el grup d'AsHC el majoritari novament. L'espècie *Pylaiella littoralis* va adquirir
350 unes concentracions d'arsenolípds total de 0.68 mg/kg, essent el grup d'AsHC el majoritari com en
351 les dues espècies anteriors. Yu et al. (2018), identifiquen alguns arsenolípds del grup d'AsHC i
352 AsSugPL però, no els quantifica. En la Figura 2, es pot observar un exemple d'uns espectres de sis
353 nous mono-acil AsSugPL identificats per d'HPLC-ESI-HR-MS-MS (Yu et al., 2018). Amin et al. (2018),
354 encara que no apareix en la Taula 4, també quantifiquen alguns arsenolípds en una barreja de
355 quatre algues. El contingut total d'arsenolípds determinat és de $0,59 \pm 0.073$ mg/kg, essent el grup
356 dels AsSugPL el més abundant. Aquest estudi expressa els resultats en base humida, diferent a la
357 utilitzada en els darrers estudis (base seca).

358

FIGURA 2

359 Com s'ha pogut corroborar, les algues marrons (*Phaeophyceae*) tenen majors quantitats d'arsènic
360 total, seguit de les algues vermelles (*Rhodophyceae*) i en menor quantitat es trobaria en les algues
361 verdes (*Chlorophyceae*). Però, no únicament influeix la taxonomia de cada alga en el seu contingut
362 d'arsènic. En un estudi interlaboratori, on s'utilitza l'alga de l'espècie *Laminata digitata* recol·lectada
363 de diferents platges del Regne Unit, es pot observar com hi ha una certa variabilitat en la
364 concentració d'arsènic inorgànic (Marschner et al., 2019). Això pot ser degut a les diverses
365 condicions ambientals, com per exemple diferent contingut de nutrients en l'aigua. S'han realitzat
366 alguns estudis sobre com afecta la quantitat de fòsfor en la bioacumulació de l'arsènic. Mamun et
367 al. (2019a) i Mamun et al. (2019b), verifiquen que una alta concentració de fòsfor en l'aigua
368 disminueix la concentració d'arsènic acumulat, ja que, inhibeix l'absorció de l'arsènic V degut al
369 caràcter competitiu entre ambdós. En canvi, no té la mateixa capacitat inhibidora per arsènic III, ja
370 que, la via d'absorció és a través d'un canal de membrana plasmàtica independent del fòsfor. El
371 ferro també tindria un paper rellevant en aquest aspecte, incrementat l'adsorció de l'arsènic en els

372 òxids de ferro generats en la superfície de l'alga. Així que facilita l'adsorció d'arsènic però,
373 disminueix l'absorció d'aquest. A més a més, la espècie d'arsènic també influiria en el contingut
374 d'arsènic acumulat. L'arsènic V, a igual concentració d'exposició d'arsènic V i d'arsènic III,
375 s'absorbeix majorment, ja que, s'han assolit concentracions més elevades d'arsènic total en les
376 algues exposades a aquesta espècie química.

377 L'arsènic inorgànic és un carcinogen per l'ésser humà, ja que, un consum d'aquest està relacionat
378 amb alguns tipus de càncer, neurotoxicitat, lesions cutànies, malalties cardiovasculars, insuficiència
379 d'alguns òrgans i fins i tot la mort (Molin, Ulven, Meltzer, & Alexander, 2015). Afortunadament, la
380 majoria de les algues tenen concentracions baixes d'aquesta espècie d'arsènic. Encara que s'ha de
381 vigilar amb l'alga *Sargassum fusiforme*, ja que, pot acumular grans quantitats d'aquest compost.
382 Algunes altres espècies d'algues marrons com *Laminaria digitata* també conté elevades concentracions
383 d'aquesta espècie d'arsènic. El MA i DMA, són considerats possiblement carcinògens per l'ésser
384 humà. Aquestes espècies d'arsènic estan relacionades amb efectes perjudicials en alguns òrgans
385 com el ronyó o el tracte gastrointestinal entre d'altres. També hi ha alguns estudis en animals
386 d'experimentació on es demostra l'efecte carcinogènic d'aquestes en alguns teixits. A més, alguns
387 arsenicals generats en el metabolisme d'As inorgànic a espècies metilades, són molt inestables i
388 poden provocar toxicitat i genotoxicitat indirecta (Molin et al., 2015). La majoria de les algues
389 acumulen principalment en els seus teixits arsenosucres, els quals no tenen una toxicitat massa
390 definida actualment. Hi ha un gran interès en aquests compostos juntament amb els arsenolípidis,
391 ja que, podrien generar metabòlits potencialment tòxics durant el seu metabolisme. Tot i que no
392 s'han realitzat estudis en ésser humans in vivo, si hi ha alguns estudis in vitro amb cèl·lules humanes.
393 Aquests corroboren que alguns metabòlits generats com els tio-arsenicals, tenen efectes tòxics en
394 les cèl·lules humanes experimentades (Molin et al., 2015). També s'ha comprovat la baixa toxicitat
395 d'AsSugOH i AsSugSO₃ en comparació amb l'arsènic inorgànic. Hi ha més toxicitat en els seus anàlegs

396 tio-arsenosucre i un elevat potencial tòxic d'algun tio-arsenical, com el tio-DMA en algunes cèl·lules
397 humanes exposades a aquest compost (Taylor et al., 2017a).

398 La Comissió Europea no ha establert encara els límits màxims d'arsènic inorgànic en algues, encara
399 que ha adoptat una recomanació pels estat membres que s'ha d'assolir a finals del 2020
400 (Andriukaitis, 2018). No obstant, alguns països com França, Hong-Kong, Austràlia i Nova Zelanda
401 tenen uns límits màxims establerts d'arsènic inorgànic, concretament 3 mg/kg, 1.4 mg/kg, 1mg/kg i
402 1 mg/kg respectivament (HO Yuk-yin, 2018) (Quiggin, 2017). S'ha de vigilar amb les algues marrons,
403 ja que, algunes espècies poden superar aquests límits. L'alga *Sargassum fusiforme* excedeix
404 àmpliament aquests límits, obtenint en algun dels estudis valors de fins a 76 ± 20 mg/kg d'As
405 inorgànic. Un altre alga marró, *Lamianria digitata* sobrepassa aquests límits en alguns estudis.
406 Aquesta pot assolir fins a 87 mg/kg d'As inorgànic en les fulles distals en decadència, encara que en
407 els estudis on no es té en compte per separat les parts de l'alga, només s'ha arribat als 20 ± 1 mg/kg
408 d'As inorgànic. Els altres fílums d'algues no han superat els 0.25 ± 0.01 mg/kg i 0.13 mg/kg d'As
409 inorgànic, per algues vermelles i verdes respectivament. Així que, s'hauria de vigilar amb les algues
410 marrons i aquelles espècies que puguin superar els límits establerts, prohibir-les pel consum humà.
411 Per altre banda, si hi ha límits establerts en la unió europea per altres aliments com l'arròs. Malgrat
412 que, la matriu no té les mateixes característiques, no es poden aplicar aquests a les algues. Per tant,
413 s'ha d'esperar a l'avaluació realitzada pels estats membres, la qual té com a data límit el 2020.

414 **4. Conclusions**

415 Actualment, el consum d'algues està augmentant en països on no s'ha consumit tradicionalment,
416 com a conseqüència de l'interès per la cuina oriental. Aquest augment en el consum d'aquestes, ha
417 suposat una preocupació majoritàriament per part dels consumidors i de les institucions de salut,
418 per l'arsènic acumulat en aquestes. Aquesta preocupació ha incrementat la recerca científica en
419 aquest aspecte en els últims anys. Aquests estudis s'han basat generalment en la determinació i
420 quantificació de l'arsènic inorgànic, ja que és l'espècie més tòxica. Encara que, cada vegada està
421 incrementat més la recerca de les espècies orgàniques com els arsenosucre, pel seu gran
422 desconeixement envers les vies de metabolització i el seu possible potencial tòxic.

423 Després de la recerca bibliogràfica realitzada dels darrers cinc anys, s'evidencia l'HPLC-ICP-MS i ICP-
424 MS com les tècniques més utilitzades per la determinació de l'especiació de l'arsènic i l'arsènic total
425 respectivament en algues marines.

426 En relació al tipus d'algues, les marrons acumulen quantitats més elevades d'arsènic que els altres
427 dos filum d'algues. S'ha de fer especial incidència en l'alga *Sargassum fusiforme*, pel seu alt
428 contingut en arsènic inorgànic. Aquesta ha arribat a assolir valors de 76 ± 20 mg/kg d'aquest
429 compost. D'altra banda, les algues vermelles i verdes no superen els 0.25 ± 0.01 mg/kg i 0.13 mg/kg
430 d'As inorgànic respectivament.

431 Malgrat focalitzar la majoria d'estudis en arsènic inorgànic per la seva reconeguda toxicitat pels
432 ésser humans, s'hauria de realitzar més estudis als arsenosucre, ja que suposen al voltant o més
433 del 50% per la majoria de les algues. A més, les seves vies de metabolització són desconegudes i es
434 té constància del possible potencial tòxic d'alguns dels seus metabòlits. El millor coneixement en
435 aquests compostos, podria suposar un avantatge en la preparació de materials de referència, els
436 quals avui dia són inexistents. Això, facilitaria la seva identificació i quantificació en algues.

437 Per concloure, segons els estudis realitzats fins a la data, el consum d'algues marines no suposa un
438 risc massa elevat en la nostra població. La majoria d'algues no superen els límits d'As inorgànic
439 establerts en alguns països, les espècies que si superen es podrien restringir de la dieta per evitar
440 possibles efectes perjudicials a la salut. A més, el consum dels europeus per aquest producte és
441 esporàdic, és a dir, no està inclòs com a base de la nostra dieta. Així que actualment no hi ha
442 evidències per dictaminar que el consum d'algues sigui perjudicial per la salut a les quantitats
443 habituals de consum i a les concentracions d'As inorgànic acumulat en la majoria de les algues
444 comestibles.

445

446 **5. Agraïments**

447 Vull agrair a la meva família pel seu suport continu en cada etapa de la meva vida, especialment
448 al meu germà bessó Alejandro. El meu germà, al realitzar el TFG el mateix any, ha sigut un suport
449 addicional. També vull agrair a la meva tutora del TFG, Dolores Barrón Bueno pel seu suport i
450 ajut durant aquest semestre, on ha mostrat interès i ha solucionat els dubtes pertinents.

451 6. Referències

- 452 Adhanom, T.; OMS (2018). Arsenic. URL [https://www.who.int/en/news-room/fact-](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/arsenic)
453 [sheets/detail/arsenic](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/arsenic) . Última consulta: 22-06-2019.
- 454 Amin, M. H. Al, Xiong, C., Glabonjat, R. A., Francesconi, K. A., Oguri, T. & Yoshinaga, J. (2018).
455 Estimation of daily intake of arsenolipids in Japan based on a market basket survey. *Food and*
456 *Chemical Toxicology*, 118, 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.05.019>
- 457 Andriukaitis, V.; Diari Oficial de la Unió Europea (2018). Recomanació (UE) 2018/464 de la Comissió
458 de 19 de març de 2018 relativa al control de metalls i iode en les algues marines, les plantes
459 halòfiles i els productes a base d'algues marines. URL
460 <https://www.boe.es/doue/2018/078/L00016-00018.pdf> . Última consulta: 22-06-2019.
- 461 Bralatei, E., Nekrosiute, K., Ronan, J., Raab, A., McGovern, E., Stengel, D. B., Krupp, E. M. &
462 Feldmann, J. (2017). A field deployable method for a rapid screening analysis of inorganic
463 arsenic in seaweed. *Microchimica Acta*, 184 (6), 1701–1709. [https://doi.org/10.1007/s00604-](https://doi.org/10.1007/s00604-017-2151-1)
464 [017-2151-1](https://doi.org/10.1007/s00604-017-2151-1)
- 465 Costa, M. (2019). Review of arsenic toxicity, speciation and polyadenylation of canonical histones.
466 *Toxicology and Applied Pharmacology*, 375, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2019.05.006>
- 467 Dhargalkar, V. K., & Kavlekar Devanand. (2004). Seaweeds – A field Manual. URL
468 <http://nio.org/userfiles/file/biology/Seaweeds-Manual.pdf> . Última consulta: 22-06-2019.
- 469 Ferdouse, F., Holdt, S. L., Smith, R., Murúa, P., & Yang, Z.; FAO (2018). The global status of seaweed
470 production, trade and utilization. URL <http://www.fao.org/3/CA1121EN/ca1121en.pdf> . Última
471 consulta: 22-06-2019.
- 472 Fiamégkos, I., Cordeiro, F., Robouch, P., Vélez, D., Devesa, D., Raber, G., Sloth, J. J., Rasmussen, R.

473 R., Llorente-Mirandes, T., Lopez-Sanchez, J. F., Rubio, R., Cubadda, F., D'Amato, M., Feldmann,
474 J., Raab, A., Emteborg, H., & de la Calle, M. B. (2016). Accuracy of a method based on atomic
475 absorption spectrometry to determine inorganic arsenic in food: Outcome of the collaborative
476 trial IMEP-41. *Food Chemistry*, *213*, 169–179.
477 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.033>

478 Foster, S., & Maher, W. (2016). Arsenobetaine and thio-arsenic species in marine macroalgae and
479 herbivorous animals: Accumulated through trophic transfer or produced in situ? *Journal of*
480 *Environmental Sciences*, *49*, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.06.003>

481 Graziano da Silva, J.; FAO (2018). L'estat mundial de la pesca i la aquicultura 2018. Complir els
482 objectius del desenvolupament sostenible. URL <http://www.fao.org/3/i9540es/I9540ES.pdf> .
483 Última consulta: 22-06-2019.

484 Guiry, M.D. (2019). The Seaweed Site: information on marine algae. URL
485 <http://www.seaweed.ie/index.php> . Última consulta: 22-06-2019.

486 Guiry, MD & Guiry, G. (2019). AlgaeBase is a global algal database of taxonomic, nomenclatural and
487 distributional information. URL <http://www.algaebase.org> . Última consulta: 22-06-2019.

488 HO Yuk-yin, J. (2018). Centre for Food Safety. The Government of the Hong Kong Special Administrative
489 Region. Part V (Food and Drugs) of the Public Health and Municipal Services Ordinance (Cap.
490 132). Food Adulteration (Metallic Contamination) Regulations URL
491 https://www.cfs.gov.hk/english/food_leg/food_leg_mc.html#mc_sch1 . Última consulta: 22-
492 06-2019.

493 Khan, N., Ryu, K. Y., Choi, J. Y., Nho, E. Y., Habte, G., Choi, H., Kim, M. H., Park, K. S. & Kim, K. S.
494 (2015). Determination of toxic heavy metals and speciation of arsenic in seaweeds from South
495 Korea. *Food Chemistry*, *169*, 464–470. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.020>

496 Mamun, M. A. Al, Omori, Y., Papry R.I., Kosugi, C., Miki, O., Rahman, I M.M., Mashio, A. S., Maki, T.
497 & Hasegawa, H. (2019a). Bioaccumulation and biotransformation of arsenic by the brown
498 macroalga *Sargassum patens* C. Agardh in seawater: effects of phosphate and iron ions. *Journal*
499 *of Applied Phycology*. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1721-x>

500 Mamun, M. A. Al, Rahman, I. M. M., Datta, R. R., Kosugi, C., Mashio, A. S., Maki, T., & Hasegawa, H.
501 (2019b). Arsenic speciation and biotransformation by the marine macroalga *Undaria*
502 *pinnatifida* in seawater: A culture medium study. *Chemosphere*, 222, 705–713.
503 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.185>

504 Marschner, K., Petursdottir, A. H., Bücken, P., Raab, A., Feldmann, J., Mester, Z., Matousek, T. &
505 Musil, S. (2019). Validation and inter-laboratory study of selective hydride generation for fast
506 screening of inorganic arsenic in seafood. *Analytica Chimica Acta*, 1049, 20-28.
507 <https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.11.036>

508 Maulvault, A. L., Anacleto, P., Barbosa, V., Sloth, J. J., Rasmussen, R. R., Tediosi, A., Fernandez-
509 Tejedor, M., Van den Heuvel, F. H.M., Kotterman, M. & Marques, A. (2015). Toxic elements and
510 speciation in seafood samples from different contaminated sites in Europe. *Environmental*
511 *Research*, 143, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.09.016>

512 McHugh, D. J.; FAO (2003). A guide to the seaweed industry. URL [http://www.fao.org/3/a-](http://www.fao.org/3/a-y4765e.pdf)
513 [y4765e.pdf](http://www.fao.org/3/a-y4765e.pdf) . Última consulta: 22-06-2019.

514 Molin, M., Ulven, S. M., Meltzer, H. M., & Alexander, J. (2015). Arsenic in the human food chain,
515 biotransformation and toxicology - Review focusing on seafood arsenic. *Journal of Trace*
516 *Elements in Medicine and Biology*, 31, 249-259. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.01.010>

517 Pétursdóttir, Á. H., Fletcher, K., Gunnlaugsdóttir, H., Krupp, E., Küpper, F. C. & Feldmann, J. (2015).
518 Environmental effects on arsenosugars and arsenolipids in *Ectocarpus* (Phaeophyta).

519 *Environmental Chemistry*, 13 (1), 21-33. <https://doi.org/10.1071/en14229>

520 Pétursdóttir, Á. H., & Gunnlaugsdóttir, H. (2019). Selective and fast screening method for inorganic
521 arsenic in seaweed using hydride generation inductively coupled plasma mass spectrometry
522 (HG-ICPMS). *Microchemical Journal*, 144, 45–50.
523 <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.08.055>

524 Quiggin, P. A. (2017). Australian Government. Federal Register of Legislation. Australia New Zealand
525 Food Standards Code – Schedule 19 – Maximum levels of contaminants and natural toxicants
526 URL <https://www.legislation.gov.au/Details/F2017C00333> . Última consulta: 22-06-2019.

527 Reis, V. A. T., & Duarte, A. C. (2018). Analytical methodologies for arsenic speciation in macroalgae:
528 A critical review. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 102, 170-184.
529 <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.02.003>

530 Ronan, J. M., Stengel, D. B., Raab, A., Feldmann, J., O’Hea, L., Bralatei, E., & McGovern, E. (2017).
531 High proportions of inorganic arsenic in *Laminaria digitata* but not in *Ascophyllum nodosum*
532 samples from Ireland. *Chemosphere*, 186, 17–23.
533 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.076>

534 Taylor, V. F., & Jackson, B. P. (2016). Concentrations and speciation of arsenic in New England
535 seaweed species harvested for food and agriculture. *Chemosphere*, 163, 6-13.
536 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.004>

537 Taylor, V., Goodale, B., Raab, A., Schwerdtle, T., Reimer, K., Conklin, S., Karagas M. R. & Francesconi,
538 K. A. (2017a). Human exposure to organic arsenic species from seafood. *Science of the Total*
539 *Environment*, 580, 266–282. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.113>

540 Taylor, V. F., Li, Z., Sayarath, V., Palys, T. J., Morse, K. R., Scholz-Bright, R. A. & Karagas, M. R. (2017b).
541 Distinct arsenic metabolites following seaweed consumption in humans. *Scientific Reports*, 7

542 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03883-7>

543 Tomatis, L.; IARC (2012). Arsenic, metals, fibres, and dusts. *Iarc Monographs*, 100 C, 41-85. URL
544 <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100C.pdf> . Última consulta:
545 22-06-2019.

546 Wang, D., Shimoda, Y., Kurosawa, H., Liu, J., Xu, X., Liu, X., Jin, H., Tong, J., Yamanaka, K. & An, Y.
547 (2015). Excretion patterns of arsenic and its metabolites in human saliva and urine after
548 ingestion of Chinese seaweed. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 95
549 (5), 379–389. <https://doi.org/10.1080/03067319.2015.1036860>

550 Wolle, M. M., & Conklin, S. D. (2018a). Speciation analysis of arsenic in seafood and seaweed: Part
551 I—evaluation and optimization of methods. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410 (22),
552 5675–5687. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-0906-0>

553 Wolle, M. M., & Conklin, S. D. (2018b). Speciation analysis of arsenic in seafood and seaweed: Part
554 II—single laboratory validation of method. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410 (22),
555 5689–5702. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-0910-4>

556 Yu, L. L., Wei, C., Zeisler, R., Tong, J., Oflaz, R., Bao, H., & Wang, J. (2015). An approach for
557 identification and determination of arsenic species in the extract of kelp. *Analytical and*
558 *Bioanalytical Chemistry*, 407 (12), 3517–3524. <https://doi.org/10.1007/s00216-015-8567-8>

559 Yu, X., Xiong, C., Jensen, K. B., Glabonjat, R. A., Stiboller, M., Raber, G., & Francesconi, K. A. (2018).
560 Mono-acyl arsenosugar phospholipids in the edible brown alga Kombu (*Saccharina japonica*).
561 *Food Chemistry*, 240, 817–821. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.024>

562 Zhang, W., Qi, Y., Qin, D., Liu, J., Mao, X., Chen, G., Wei, C. & Qian, Y. (2017). Determination of
563 inorganic arsenic in algae using bromine halogenation and on-line nonpolar solid phase
564 extraction followed by hydride generation atomic fluorescence spectrometry. *Talanta*, 170,

565 152–157. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.04.001>

566 Zhou, Q., & Xi, S. (2018). A review on arsenic carcinogenesis: Epidemiology, metabolism,
567 genotoxicity and epigenetic changes. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 99, 78–88.

568 <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2018.09.010>

569 **Figure Captions**

570 **Figura 1.** Principals metabòlits en orina, després del consum de determinades espècies d'arsènic
571 com arsenobetaina (AB), arsenosucres, arsenolípid i arsènic inorgànic acumulades en aliments
572 marins.

573 **Figura 2.** Espectres de sis mono-acil AsSugPL identificats per HPLC-ESI-HR-MS-MS de l'alga Kombu:
574 AsSugPL 706, AsSugPL 720, AsSugPL 734, AsSugPL 746, AsSugPL 748, AsSugPL 776.

575 **Taula 1. Producció aqüícola mundial de plantes aquàtiques (milers de tones, en pes viu).**

Espècies de plantes aquàtiques	Milers de tones, en pes viu
<i>Eucheuma spp.</i>	10 519
<i>Laminaria</i> del Japó, <i>Laminaria japonica</i> (kombu)	8 219
Gracilaries, <i>Gracilaria spp.</i>	4 150
<i>Undaria pinnatifida</i> (wakame)	2 070
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	1 527
<i>Porphyra spp.</i>	1 353
Algues nep, Algae	1 049
<i>Porphyra tenera</i>	710
<i>Eucheuma espinosa</i> , <i>Eucheuma denticulatum</i>	214
<i>Sargassum fusiforme</i> (Hijiki)	190
Spirulina nep, <i>Spirulina spp.</i>	89
Algues pardes, <i>Phaeophyceae</i>	34
Altres	17
Total	30 139

Taula 2. Diverses espècies d'arsènic amb els seu acrònim, fórmula química i estructura molecular

Nom	Acrònim	Fórmula química	Estructura molecular
Arsenit	As (III)	AsO_3^{3-}	
Arsenat	As (V)	AsO_4^{3-}	
Arsenosucre	AsSug	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{AsO}_5\text{R}$	
Arsenobetaina	AB	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{AsO}_2^+$	
Arsenocolina	AC	$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{AsO}^+$	
Arsenolípid	AsL	$\text{C}_2\text{H}_6\text{AsO}(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$	
Metilarsenit	MA (III)	$\text{CH}_3\text{AsO}_2^{2-}$	
Metilarsenat	MA (V)	$\text{CH}_3\text{AsO}_3^{2-}$	
Dimetilarsenit	DMA (III)	$\text{C}_2\text{H}_6\text{AsO}^-$	
Dimetilarsenat	DMA (V)	$\text{C}_2\text{H}_6\text{AsO}_2^-$	

Taula 3. Espècie d'arsènic analitzada i les tècniques de separació-detecció emprades en cada cas.

Espècie d'As analitzat	Tècnica	Referència
Arsènic orgànic i arsènic total	LC-ICP-MS, ESI-IT-TOF, LC-INAA i ICP-MS	(Yu L. et al., 2015)
Arsènic inorgànic i arsènic total	HPLC-ICP-MS i ICP-MS	(Maulvault et al., 2015)
Arsènic orgànic, arsènic inorgànic i arsènic total	LC-ICP-MS i ICP-MS	(Khan et al., 2015)
Arsènic orgànic i arsènic total	HPLC-ICP-MS i HPLC-ESI-TOF / MS i ICP-MS	(Wang et al., 2015)
Arsènic orgànic i arsènic total	HPLC-ICP-MS / ESI-MS, HG-ICP-MS i ICP-MS	(Petursdottir et al., 2015)
Arsènic inorgànic i arsènic total	FI-HG-AAS i ICP-MS	(Fiamegkos et al., 2016)
Arsènic orgànic i arsènic total	HPLC-ICP-MS i ICP-MS	(Foster & Maher, 2016)
Arsènic orgànic, arsènic inorgànic i arsènic total	HPLC-ICP-MS i ICP-MS	(Taylor & Jackson, 2016)
Arsènic inorgànic i arsènic total	HPLC-ICP-MS i ICP-MS	(Ronan et al., 2017)
Arsènic orgànic, arsènic inorgànic i arsènic total	HPLC-ICP-MS i ICP-MS	(Taylor et al., 2017b)
Arsènic inorgànic	SPE-HG-AFS	(Zhang et al., 2017)
Arsènic inorgànic i arsènic total	FDM i ICP-MS	(Bralatei et al., 2017)
Arsènic orgànic, arsènic inorgànic i arsènic total	LC-ICP-MS i ICP-MS	(Wolle & Conklin, 2018a) (Wolle & Conklin, 2018b)
Arsènic orgànic i arsènic total	HPLC-ICP-MS / ESI-MS-MS i HPLC-ESI-HR-MS i ICP-MS	(Yu et al., 2018)
Arsènic orgànic	HPLC-ICP-MS / ESI-MS-MS i HPLC-ESI-HR-MS-MS	(Amin et al., 2018)
Arsènic inorgànic i arsènic total	HG-ICP-MS i ICP-MS	(Pétursdóttir & Gunnlaugsdóttir, 2019)
Arsènic total	ICP-MS	(Mamun et al., 2019a)
Arsènic total	ICP-MS	(Mamun et al., 2019b)
Arsènic inorgànic i arsènic total	HG-ICP-MS i ICP-MS	(Marschner et al., 2019)

578 **Taula 4. Algues analitzades amb les concentracions d'arsènic total i de diferents espècies d'arsènic**
 579 **determinades.**

Algues	As _T (mg/kg)	iAs (mg/kg)	Arsenosucre (mg/kg)	Altres (mg/kg)	Referències
Kelp Laver	29.4 ± 1.0	-	OH: 1.68 ± 0.63, PO ₄ : 5.68 ± 0.28, SO ₃ : 13.43 ± 0.31	DMA: 0.465 ± 0.021	(Yu et al., 2015)
Laver	40.3 ± 1.4	-	-	-	
<i>Laminaria digitata</i>	41 ± 19	20 ± 1	-	-	(Maulvault et al., 2015)
<i>Saccharina latissima</i>	43 ± 0	0.39 ± 0.00	-	-	
<i>Porphyra tenera</i> (laver)	2.07 ± 0.53	<LOD	-	Arsenicals metilats: 0.555 ± 0.39 (DMA: 0.085 ± 0.079)	(Khan et al., 2015) ^a
<i>Laminaria japónica</i> (Kombu)	3.04 ± 1.47	<LOD	-	Arsenicals metilats: 0.516 ± 0.32 (DMA: 0.026 ± 0.020)	
<i>Undaria pinnatifida</i> (Wakame)	1.84 ± 0.81	<LOD	-	Arsenicals metilats: 0.285 ± 0.16 (DMA: 0.24 ± 0.13)	
<i>Sargassum fusiforme</i> (Hijiki)	4.49 ± 0.65	2.350 ± 1.55	-	Arsenicals metilats: 0.746 ± 0.4 (DMA: 0.68 ± 0.33)	
<i>Sargassum fulvellum</i>	6.48 ± 0.60	5.347 ± 0.46	-	Arsenicals metilats: 0.14 ± 0.01 (DMA: <LOD)	
Sense especificar	16.9 - 21.2 ± 1.9	-	OH i PO ₄ (no quantificació)	DMA (no quantificació)	(Wang et al., 2015)
<i>Ectocarpus islandès</i>	5–7	-	OH: 0.28, PO ₄ : 0.29, SO ₃ : 0.35	Arsenolípids: AsHC 360, 374, 388: 0.75; AsSugPL 931, 944, 982, 958, 972, 984, 986, 1000: <0.01	(Petursdottir et al., 2015)
<i>Ectocarpus escocès</i>	10–12	-	OH: 0.9, PO ₄ : 0.25, SO ₃ : 0.35	Arsenolípids: AsHC 360, 374, 388: 0.65; AsSugPL 931, 944, 982, 958, 972, 984, 986, 1000: <0.1	
<i>Elachista sp.</i>	32	-	OH: 7.9, PO ₄ : 6.1, SO ₃ : 9	Arsenolípids: AsHC 360, 374: 0.7; AsSugPL 944, 956, 982: 0.12, 958, 972: 0.31, 984, 986, 1000: 0.1, 1014: 0.02	

<i>Pylaiella littoralis</i>	20	-	OH: 0.5, PO₄: 1.5, SO₃: 5.7	Arsenolípids: AsHC 360, 374: 0.25, 388, 402: 0.15; AsSugPL 944, 956, 982: 0.15, 958, 972: 0.11, 984, 986, 1000: 0.01, 1014: 0.005	
<i>Sargassum fusiforme</i> (Hijiki)	35.8 ± 0.9	10.1 ± 0.5	-	-	(Fiamegkos et al., 2016)
Algues vermelles	1.1 - 15.5	-	OH: 0.12 ± 0.02 - 2.8 ± 0.4, thio-PO₄: <LOD, thio-SO₃: <LOD - 0.16 ± 0.02, thio-SO₄: <LOD - 0.027 ± 0.004, thio-OH: <LOD	AB: <LOD - 0.56 ± 0.08	(Foster & Maher, 2016)
Algues verdes	8.2 – 13.5	-	OH: 1.1 ± 0.2 - 3.2 ± 0.5, thio-PO₄: <LOD, thio-SO₃: <LOD, thio-SO₄: <LOD, thio-OH: <LOD	AB: 0.71 ± 0.11 - 1.2 ± 0.2	
Algues marrons	5.6 - 131	-	OH: 0.39 ± 0.06 - 23 ± 4, thio-PO₄: <LOD - 0.13 ± 0.02, thio-SO₃: <LOD - 0.17 ± 0.03, thio-SO₄: <LOD, thio-OH: <LOD	AB: <LOD - 0.69 ± 0.10	
Algues vermelles	4.17 - 20.73	0.06 ± 0.11 - 0.47	OH: 0.17 - 3.10, PO₄: 0.17 - 24.98, SO₃: 0.06 - 0.27, SO₄: <LOD - 1.46	Arsenicals metilats: 0.09 - 0.99 ± 0.36 (DMA: 0.05 - 0.96 ± 0.35)	(Taylor & Jackson, 2016)
Algues verdes	4.13 - 14.65	0.02 - 0.17	OH: 0.06 - 0.87, PO₄: 0.02 - 0.34, SO₃: 0.01 - 0.17, SO₄: <LOD	Arsenicals metilats: 0.03 - 0.32 (DMA: <LOD - 0.22)	
Algues marrons	16.12 - 106.73	<LOD - 8.32 ± 7.67	OH: 0.28 - 4.50 ± 1.81, PO₄: 0.31 ± 0.04 - 11.82, SO₃: 1.10 ± 0.11 - 46.09, SO₄: <LOD - 5.65 ± 1.11	Arsenicals metilats: 0.18 ± 0.08 - 1.03 ± 0.54 (DMA: 0.18 ± 0.08 - 0.97 ± 0.41)	
<i>Laminaria digitata</i>	36 ± 0.33 - 131 ± 3.1	2.2 - 87	-	-	(Ronan et al., 2017)
<i>Ascophyllum nodosum</i>	38 ± 6.4 - 111 ± 2.5	0.007 - 0.703	-	-	
<i>Porphyra sp.</i> (Nori)	19.4 ± 4.2	0.03 ± 0.01	OH: 0.19 ± 0.13, PO₄: 8.37 ± 3.84, SO₃: <LOD, SO₄: <LOD	DMA: 0.21 ± 0.20	

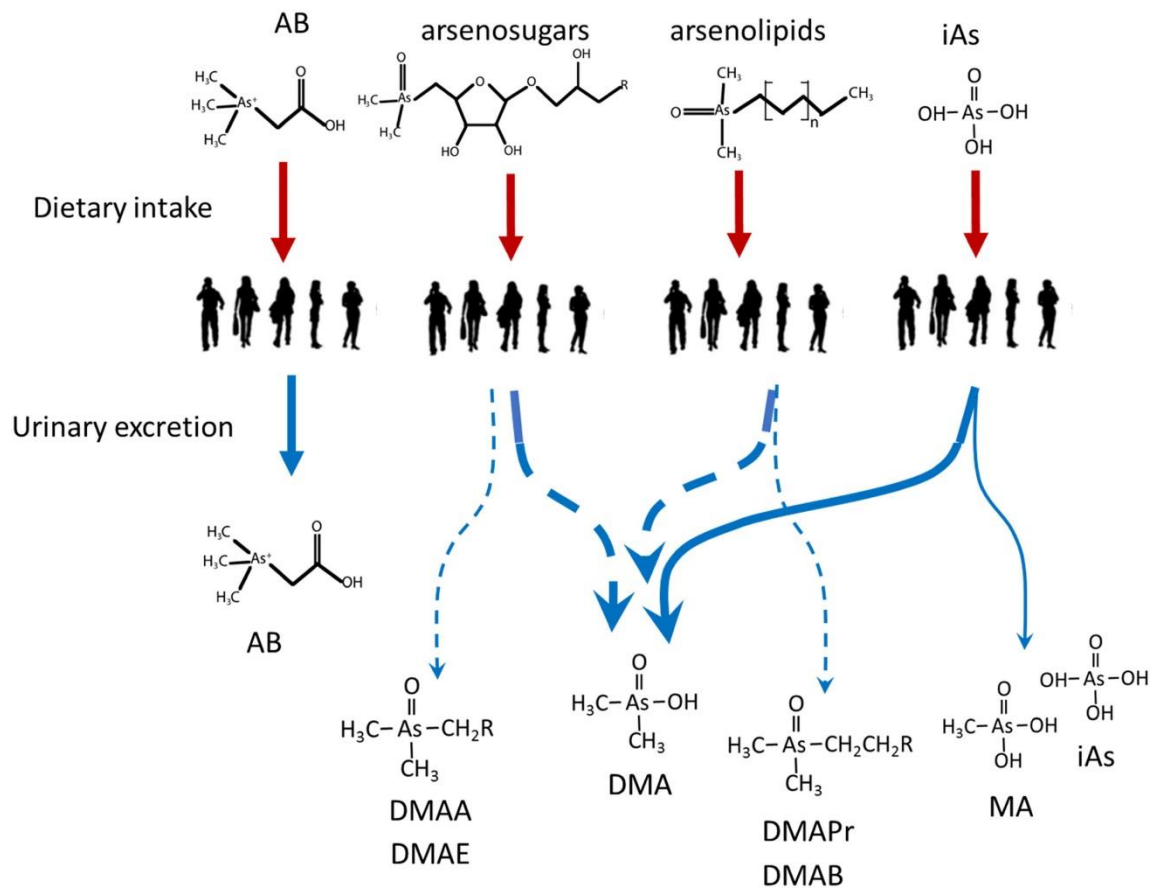
<i>Laminaria japonica</i> (Kombu)	51.2 ± 11.6	<LOD	OH: 3.07 ± 2.54, PO₄: 7.98 ± 1.19, SO₃: 34.9 ± 21.7, SO₄: 0.20 ± 0.07	DMA: 0.51 ± 0.18	(Taylor et al., 2017b)
<i>Undaria pinnatifida</i> (Wakame)	34.7 ± 15.8	<LOD	OH: 0.63 ± 0.67, PO₄: 0.12 ± 0.17, SO₃: <LOD , SO₄: <LOD	DMA: 0.15 ± 0.17	
<i>Sargassum fusiforme</i> (Hijiki)	83.7	19.83	OH: 0.38, PO₄: 0.21, SO₃: <LOD , SO₄: <LOD	DMA: 0.89	
<i>Eisenia bicyclis</i> (Arame)	41.6	<LOD	OH: 0.21, PO₄: 0.61, SO₃: 2.76, SO₄: <LOD	DMA: 0.22	
Alga Vermella	35.2	<LOD	OH: 0.98, PO₄: 29.4, SO₃: <LOD , SO₄: 0.14	DMA: 0.42	
<i>Palmaria palmata</i> (Dulse)	12.1	<LOD	OH: 4.2, PO₄: 6.5, SO₃: <LOD , SO₄: <LOD	DMA: 0.45	
Condiment d'alga	43.5	<LOD	OH: 1.31, PO₄: 4.84, SO₃: 17.3, SO₄: 3.15	DMA: 0.25	
Fideos d'alga	0.08	<LOD	OH: <LOD , PO₄: <LOD , SO₃: <LOD , SO₄: <LOD	DMA: <LOD	
Snack	18.6	<LOD	OH: <LOD , PO₄: 7.4, SO₃: <LOD , SO₄: <LOD	DMA: 0.17	
Agar	0.23	0.06	OH: 0.01, PO₄: 0.01, SO₃: 0.04, SO₄: <LOD	DMA: 0.03	
Laver	-	0.05 ± 0.03 - 0.20 ± 0.02	-	-	(Zhang et al., 2017)
Sense especificar	-	0.10 ± 0.03	-	-	
Kelp	-	0.11 ± 0.01 - 0.46 ± 0.08	-	-	
<i>Sargassum fusiforme</i> (Hijiki)	-	57.5 ± 1.40	-	-	
<i>Laminaria japonica</i> (Kombu)	19 ± 0.8 - 115 ± 6.7	0.07 ± 0.05 - 0.12 ± 0.04	-	-	(Bralatei et al., 2017)
<i>Porphyra sp.</i> (Nori)	34 ± 1.3 - 43 ± 1.2	0.06 ± 0.06 - 0.25 ± 0.01	-	-	
<i>Undaria pinnatifida</i> (Wakame)	48 ± 5.4 - 76 ± 2.1	0.05 ± 0.02 - 0.06 ± 0.02	-	-	
<i>Sargassum fusiforme</i> (Hijiki)	135 ± 5.5 - 234 ± 0.9	53 ± 7.4 - 76 ± 20	-	-	

<i>Laminaria digitata</i>	-	3-73 (mitjana 34 ± 18)	-	-	
<i>Laminaria japonica</i> (Kombu)	26.5 ± 0.8	0.35 ± 0.032	OH: 1,88 ± 0.05, PO₄: 1.23 ± 0.097, SO₃: 2.37 ± 0.082, SO₄: 7.62 ± 0.216	Arsenicals metilats: 0.863 ± 0.05 (DMA: 0.427 ± 0.03), Anions desconeeguts: 0.082 ± 0.009, Cations desconeeguts: 0.358 ± 0.041	(Wolle & Conklin, 2018 a) (Wolle & Conklin, 2018 b)
<i>Laminaria japonica</i> (Kombu).	55.0 ± 0.6	-	-	Arsenolípidis: AsHC 332, 346, 358, 360, 382; AsSugPL 692, 706, 720, 734, 742, 746, 748, 776	(Yu et al., 2018)
<i>Ascophyllum nodosum</i> (kelp noruec)	25.9 ± 0.3 - 44.7 ± 1.4	0.060 ± 0.002 - 0.195 ± 0.016	-	-	(Pétursdóttir & Gunnlaugsdóttir, 2019)
<i>Fucus vesiculosus</i>	29.2 ± 0.1 - 62.6 ± 0.7	0.08 ± 0.01 - 0.339 ± 0.004	-	-	
<i>Saccharina latissima</i> (cinturó de mar)	38.3 ± 0.5 - 80.3 ± 1.5	0.24 ± 0.03 - 0.45 ± 0.06	-	-	
<i>Sargassum fusiforme</i> (Hijiki)	69.8 ± 0.3	42.3 ± 0.1	-	-	(Marschner et al., 2019)
<i>Porphyra sp.</i> (Nori)	18.5 ± 0.02	0.106 ± 0.002	-	-	
<i>Laminaria japonica</i> (Kombu)	68.5 ± 0.6	0.160 ± 0.005	-	-	
<i>Undaria pinnatifida</i> (Wakame)	31.1 ± 0.2	0.150 ± 0.005	-	-	
<i>L. digitata</i> (Newburgh)	57.2 ± 0.1 - 64.3 ± 0.1	13.1 ± 1.1 - 15.4 ± 0.2	-	-	
<i>L. digitata</i> (Red Hood)	69.9 ± 1.3 - 72.9 ± 1.1	0.37 ± 0.08 - 2.0 ± 0.2	-	-	
<i>L. digitata</i> (Stonehaven)	56.1 ± 0.4 - 49.3 ± 0.2	0.08 ± 0.01 - 0.45 ± 0.02	-	-	
<i>L. digitata</i> (Catterline)	57.1 ± 1.0 - 64.3 ± 0.6	10.3 ± 0.3 - 11.5 ± 0.2	-	-	

580 **a:** Valors expressats en base humida. **LOD:** límit de detecció, **As_T:** Arsènic total, **iAs:** Arsènic inorgànic,

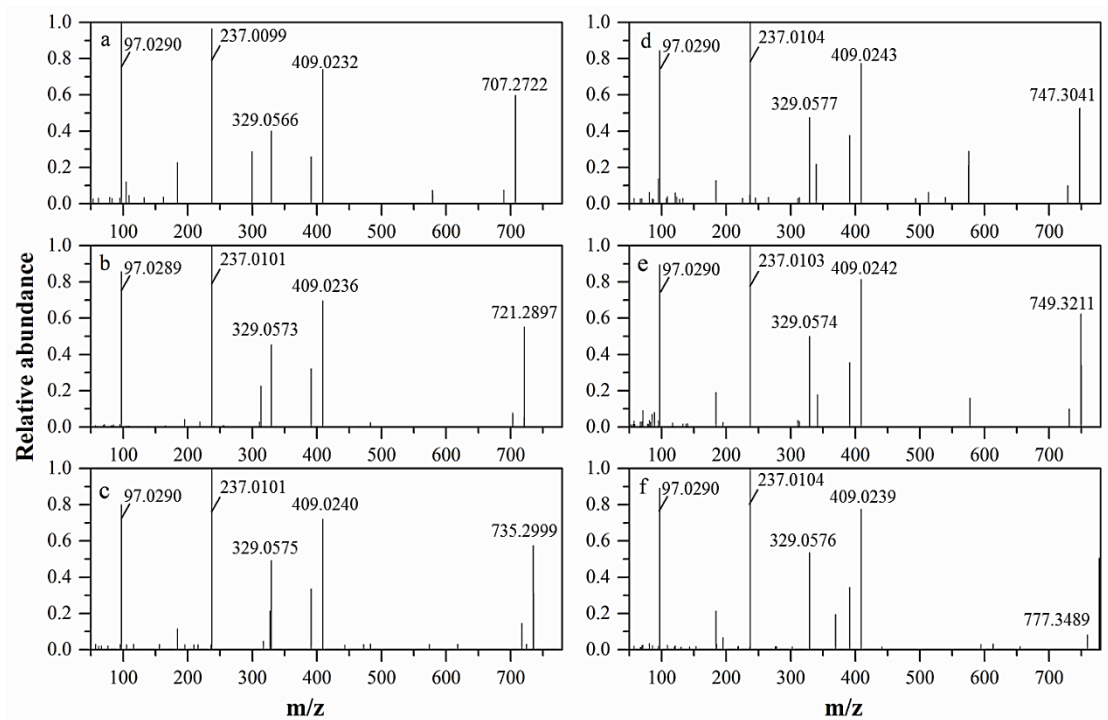
581 **DMA:** Dimetilarsènic, **AsHC:** hidrocarburs d'arsènic (arsenolípidis) i **AsSugPL:** Fosfolípidis d'arsenosucres

582 (arsenolípidis).



583

584 **Figura 1.**



585

586 **Figura 2.**

587 **Highlights**

- 588 • S'ha realitzat una revisió dels compostos d'arsènic en algues durant 2015-2019.
- 589 • S'han revisat les tècniques més utilitzades, essent l'HPLC-ICP-MS per l'especiació.
- 590 • Les algues marrons assoleixen concentracions més elevades d'arsènic.
- 591 • Alguns metabòlits dels arsenosucres poden tenir un potencial tòxic.
- 592 • La Comissió Europea no ha establert límits màxims d'arsènic inorgànic en algues.



594

595 **Figura A.** Exemplars d'alga marró de l'espècie *Sargassum fusiforme* fotografiats per Hideki Haga a
596 Japó (Guiry & Guiry, 2019).



597

598 **Figura B.** Exemplars d'alga vermella de l'espècie *Porphyra umbilicalis* fotografiats per Michael
599 Guiry a Irlanda (Guiry & Guiry, 2019).



600

601 **Figura C.** Exemplars d'alga verda de l'espècie *Ulva lactuca* fotografiats per Mat Vestjens & Anne
602 Frijsinger a Països Baixos (Guiry & Guiry, 2019).