

INTERSPECIFIC VARIATION OF THE BIOCHEMICAL AND BROMATOLOGICAL  
COMPOSITION IN SEAWEEDS OF THE ORIENTAL TROPICAL PACIFIC IN  
MICHOACAN MEXICO.

VARIACIÓN INTERESPECÍFICA DE LA COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA Y  
BROMATOLOGICA EN MACROALGAS DEL PACIFICO ORIENTAL TROPICAL EN  
MICHOACÁN, MÉXICO.

Luis Erick Arroyo-Sesento\*, Rubén Hernández-Morales

Área de Ficología, Laboratorio de Investigación en Biología Acuática "J. Javier Alvarado Díaz". Facultad de  
Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

\*Autor para correspondencia [erickarroyo18@hotmail.com](mailto:erickarroyo18@hotmail.com)

Recibido: 04 de abril de 2017; Aceptado: 06 de junio de 2017.

ABSTRACT

Seaweeds constitute an energetic and structural source that provides a high number of beneficial compounds for the development of productive activities. Its use has been developed mainly in Asian cultures and South America. In Mexico, it is a little explored and unused resource except for the peninsula of Baja California, the Gulf of Mexico and the Caribbean. In the Eastern Pacific Tropical Michoacan, only one study on bioactive compounds of this group is available. The present research contributes to the knowledge of the structural composition of the group by carrying out a bromatological and biochemical analysis of eleven species of macroalgae from the Michoacan coast, to delimit their bromatological and chromatic variation. The results show that there is a marked bromatological and chromatic fluctuation between species, which is the result of different physicochemical, environmental and physio-geographical factors and in some cases attributed to interspecific genetic expressions. It is concluded that *Ulva lactuca*, *Grateloupia versicolor* and *Gracilaria pachydermatica* present bromatological and chromatic characteristics that allow the detonation of industrial and food activities in the state of Michoacán.

Keywords: seaweeds, bromatology, biochemical, fluctuation, Eastern Pacific Michoacan

RESUMEN

Las macroalgas constituyen una fuente energética y estructural que proporciona un alto número de compuestos benéficos para el desarrollo de actividades productivas. Su aprovechamiento se ha desarrollado principalmente en culturas asiáticas y Sudamérica. En México es un recurso poco explorado e inutilizado con excepción de la península de Baja California, el Golfo de México y el Caribe. En el Pacífico Oriental Tropical Michoacano solo se cuenta con un estudio sobre compuestos bioactivos de dicho grupo. La presente investigación contribuye al conocimiento de la composición estructural del grupo efectuando un análisis bromatológico y bioquímico de once especies de macroalgas de la costa michoacana, para delimitar su variación bromatológica y cromática. Los resultados muestran que existe una marcada fluctuación bromatológica y cromática entre especies, la cual es resultado de diferentes factores fisicoquímicos, ambientales y fisio-geográficos y en algunos casos atribuidos a expresiones genéticas interespecíficas. Se concluye que *Ulva lactuca*, *Grateloupia versicolor* y *Gracilaria pachydermatica* presentan características bromatológicas y cromáticas que permiten detonar actividades industriales y alimentarias a futuro en el estado de Michoacán.

Palabras clave: macroalgas, bromatología, bioquímica, fluctuación, Pacífico Oriental Michoacano.

## INTRODUCCIÓN

El uso y aprovechamiento de las algas marinas, es una actividad recurrente en diversas culturas, particularmente asiáticas e indoasiáticas (Japón, China e India), concretamente en la industria alimentaria. Ésta práctica se ha extendido con el paso de los siglos a países europeos y a diversas culturas costeras de América del Sur y América del Norte (McHugh, 2003), potencializando su uso en la industria cosmética, textil, farmacéutica, de la construcción, en ciencias biomédicas, en bioremediación y en actividades agrícolas y pecuarias (Pak y Araya, 1996; Tseng, 2001; Neori, 2008; Bixler y Porse, 2011; Rajendran *et al.*, 2012; Wijesinghe y Jeon, 2012; Prajapati *et al.*, 2014).

En México, el aprovechamiento de las algas marinas a nivel industrial inicia mediados del siglo pasado frente a las costas de Baja California. En la actualidad cuenta con al menos cuatro ramas industriales a partir de las macroalgas: los ficocoloides, las algas como forraje marino y terrestre, los extractos para mejoradores agrícolas y las algas para consumo humano (Zertuche-González, 2013).

Diferentes estudios ponen de manifiesto que México cuenta con una gran cantidad de especies de macroalgas con potencial comercial e industrial (Robledo y Freile-Peigrín, 2011; Rodríguez *et al.*, 2012; Rebours *et al.*, 2014). Las algas marinas (verdes, pardas y rojas), se han empleado con frecuencia para la alimentación ya que contienen varios compuestos orgánicos e inorgánicos como proteínas, aminoácidos esenciales, minerales, carbohidratos y compuestos bioactivos, son benéficos para la salud animal y humana (Serviere-Zaragoza, 2002; Kuda *et al.*, 2002; Casas-Valdez *et al.*, 2006; Moo-Puc *et al.*, 2009).

En Michoacán, se registra una diversa flora de macroalgas, integrada por talos de importancia industrial. La diversidad florística considera 80 especies de macroalgas con mayor recurrencia en las playas de Caleta de Campos y Las Peñas. Algunos de los géneros comunes corresponden a *Amphiroa*, *Jania*, *Hypnea* y *Tayloriella* de algas rojas; *Padina*, *Ectocarpus*, y *Sargassum* de algas pardas y *Chaetomorpha*, *Codium*, *Caulerpa*, *Enteromorpha*, y *Ulva* de algas verdes (Sout y Dreckmann, 1993; Martinell y Gold 1997; Mendoza-González *et al.*, 2015).

Sin embargo, dada la diversidad de macroalgas en el estado de Michoacán, se carece de estudios que caractericen la composición bioquímica como una estrategia para detonar actividades productivas en el estado, sólo se presenta una evaluación de su actividad antibiótica (De Lara-Issasi *et al.*, 1989). Por lo cual la presente investigación contribuye al conocimiento de los atributos bioquímicos y el análisis proximal de talos macrófitos en el pacífico oriental tropical de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** La playa de Caleta de Campos y la playa de Las Peñas, se localizan dentro del pacífico oriental tropical en México, en la división política correspondiente al estado de Michoacán (Figura 1). Se ubican dentro de las coordenadas extremas 18° 4' 28,1" latitud norte, 102° 45' 6,3" longitud oeste y 18° 1' 15,5" latitud norte, y 102° 30' 2" longitud oeste respectivamente.

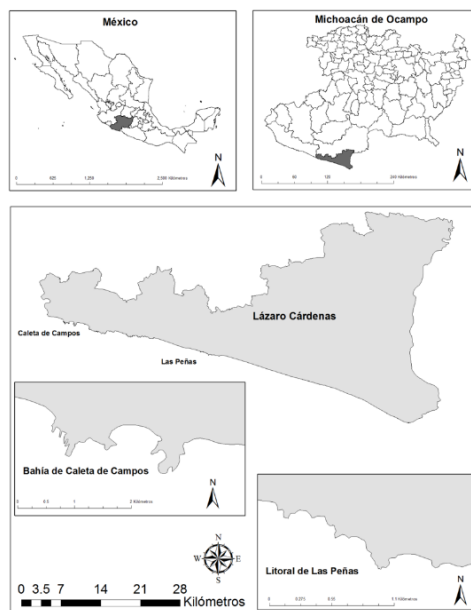


Figura 1. Localización geográfica de las playas.

El litoral de la costa de Michoacán presenta una plataforma continental estrecha en la cual se desarrolla un arrecife rocoso, compuesto principalmente por andesita-toba, intercalado de sustrato de textura gruesa. Presenta un régimen micromareal de tipo mixto semidiurno (Klein, 1985), con un intervalo

entre las mareas alta y baja de 0 a 2 m (Toledo y Bozada, 2002; Correa y Gómez, 2003). De acuerdo con el sistema climático modificado de Köppen, presenta un clima Awi: tropical, con lluvias en verano, temperatura media anual de 26,5 °C con máxima de 39,5 °C y mínima de 9,5 °C. La precipitación media anual es de 1295,3 mm (García, 1981).

*Recolección de los ejemplares algales.* La recolección de ejemplares se efectuó por duplicado en la zona mesolitoral de las playas del municipio de Lázaro Cárdenas citadas anteriormente en el mes de julio del 2015. Una línea de ejemplares se preservó en bolsas de polipropileno a - 80 °C sin preservador de acuerdo a Gosch *et al.*, (2012), mientras que la línea restante se preservó en formol al 4 %, para su determinación taxonómica, siguiendo las recomendaciones de Ortega *et al.*, (2002) y Mateo-Cid y Mendoza-González, (2012).

*Determinación del material ficológico.* La determinación de los ejemplares se efectuó con un microscopio Amscope con los objetivos 40 y 100 X, considerando los criterios de Ávila y Pedroche (2005), Cho *et al.* (2008) y Norris (2010). Los especímenes determinados fueron depositados en el Herbario Ficológico de la Universidad Michoacana (EBUM), registrado en Index Herbariorum.

#### *Análisis químico.*

*Tratamiento previo.* La línea que se transportó sin preservador se lavó con agua destilada para retirar los restos de sustratos, partículas, algas epífitas y macroinvertebrados (Sakthivel y Devi, 2015). Para el análisis cromático se utilizó el talo algal fresco (Hegazi *et al.*, 1998), mientras que para los análisis bromatológicos las muestras se desecaron a 28 °C (Sakthivel y Devi, 2015), para retirar humedad, consecutivamente se molió el talo en un mortero para la obtención de un polvo fino utilizado en el análisis.

*Lípidos.* La cuantificación lipídica se basó en una extracción por medio de solventes orgánicos de acuerdo al método de Bligh y Dyer modificado (González *et al.*, 2010).

*Humedad y Cenizas.* Para la cuantificación de la humedad y cenizas se efectuó por ignición y termogravimetría a peso constante de acuerdo a los métodos descritos por Acquistucci *et al.*, (1991).

*Proteínas.* El porcentaje de proteína se obtuvo cuantificando el nitrógeno total del talo algal, usando el método micro-Kjeldahl, descrito por la A.O.A.C. (1999). Se utilizó el factor 6,25 para obtener las cantidades proteicas correspondientes de acuerdo a Mariotti *et al.*, (2008).

*Fibra.* Las fracciones de fibra cruda fueron analizadas simulando condiciones acidas y alcalinas, propias del estómago de acuerdo al método de Kennedy descrito por la F.A.O. (1993).

*Carbohidratos.* El contenido de carbohidratos fue estimado como el residual porcentual de la suma de los constituyentes de lípidos, proteínas, cenizas, fibra cruda, y humedad, de acuerdo a la propuesta metodológica de Wong *et al.*, (2000)

*Agar y carragenanos.* Las fibras de agar y carragenanos se cuantificaron mediante una extracción acuosa y alcalina por ebullición a 96°C de acuerdo a la metodología propuesta por Craigie y Leigh (1978).

*Pigmentos fotosintéticos.* La cuantificación y extracción de pigmentos fotosintéticos y biliproteínas se efectuó por maceración del talo algal fresco con solventes orgánicos y buffer de fosfatos respectivamente, y posteriormente por espectrofotometría (Andersson *et al.*, 2006).

#### *Análisis de datos.*

El análisis estadístico se efectuó empleando el lenguaje de programación estadístico R v 3, 1,1 (R Core Team, 2014); para determinar alguna relación existente entre los componentes cromáticos y los proximales se ejecutó un análisis de ordenamiento por medio de un decorana (Detrended Correspondence Analysis) (Hill & Gauch 1980). Para detectar diferencias en la composición cromática y proximal entre especies se efectuó con un anova no paramétrica (de una vía), con un nivel de confianza de  $\alpha=0,05$ .

## RESULTADOS

Se determinaron once especies pertenecientes a once géneros y once familias de macroalgas bentónicas, estos géneros corresponde a las divisiones Chlorophyta, Ochrophyta y Rhodophyta. Cabe mencionar que algunas especies se presentaron en ambas localidades y otras se encontraron restringidas a una localidad (Tabla 1).

Tabla 1. Facies y talos de macrofitas recolectadas en la costa del Estado de Michoacán. Ci: cistocarpio, Gn:gimnoblato, Ve: vegetativo, Te: tetrasporangio, G:gametangios, Ca: carpogonio; M:mesolitoral; R:sustrato rocoso; Ex: expuesto, Se: semiexpuesto, P: protegido

	LOCALIDAD		REPRODUCCIÓN	NIVEL DE MAREA	FACIES	UBICACIÓN
	CALETA DE CAMPOS	LAS PEÑAS				
<b>RHODOPHYTA</b>						
<b>Ceramiales</b>						
<i>Centroceras clavulatum</i>	x		Te	M	R	P
<b>Phylloporales</b>						
<i>Gymnogongrus leptophyllus</i>		x	Ci	M	R	Se
<b>Halymeniaceae</b>						
<i>Grateloupia versicolor</i>	x	x	Gn	M	R	Ex, Se
<b>Gracilariaceae</b>						
<i>Gracilaria pachydermatica</i>	x	x	Ve, Te	M	R	Ex
<b>Cystocloniaceae</b>						
<i>Hypnea pannosa</i>	x	x	Ve	M	R	P
<b>Corallinales</b>						
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	x		Te	M	R	Ex, Se
<b>Ahnfeltiaceae</b>						
<i>Ahnfeltia plicata</i>		x	Ca	M	R	Se
<b>OCHROPHYTA</b>						
<b>Dictyotaceae</b>						
<i>Padina crispata</i>	x	x	Te	M	R	Ex, Se
<b>CHLOROPHYTA</b>						
<b>Cladophoraceae</b>						
<i>Chaetomorpha antennina</i>	x	x	Ve	M	R	Ex
<b>Codiaceae</b>						
<i>Codium giraffa</i>	x	x	Gn, Ve	M	R	Se
<b>Ulvaaceae</b>						
<i>Ulva lactuca</i>	x	x	Ve, G	M	R	Ex

*Análisis bromatológicos*

**Lípidos:** La concentración lipídica, en los talos de *Chaetomorpha anteninna* presentó la mayor variación entre los ejemplares determinados, mientras que *Gymnogongrus leptophyllus* registró la máxima concentración de lípidos. En cambio *Amphiroa beauvoisii* exhibió la menor concentración en el parámetro (Figura 2.) Cabe mencionar que en su mayoría los talos algales mostraron concentraciones lipídicas que van de los 0,5 a 2 % en peso seco, a excepción de *Centroceras clavatum*, *Gracilaria pachydermatica*, *C. anteninna* y *G. leptophyllus*. El análisis estadístico muestra que hay diferencias significativas en la fracción lipídica entre especies ( $\chi^2 = 22,24$ , g.l. = 10,  $p = 0,01393$ ).

**Cenizas:** La concentración de éste constituyente muestra una fluctuación de 17,5 al 67,5 % del peso seco, el cual registra la máxima variación en la especie *Grateloupia versicolor*. La especie que registra la mayor concentración de éste parámetro bromatológico es *Ahnfeltia plicata*, mientras que el mínimo se reporta para la especie *Gracilaria pachydermatica* (Figura 2). El análisis estadístico alude diferencias interespecíficas en cuanto al contenido de cenizas en los talos algales ( $\chi^2 = 28,88$ , g.l. = 10,  $p = 0001302$ ).

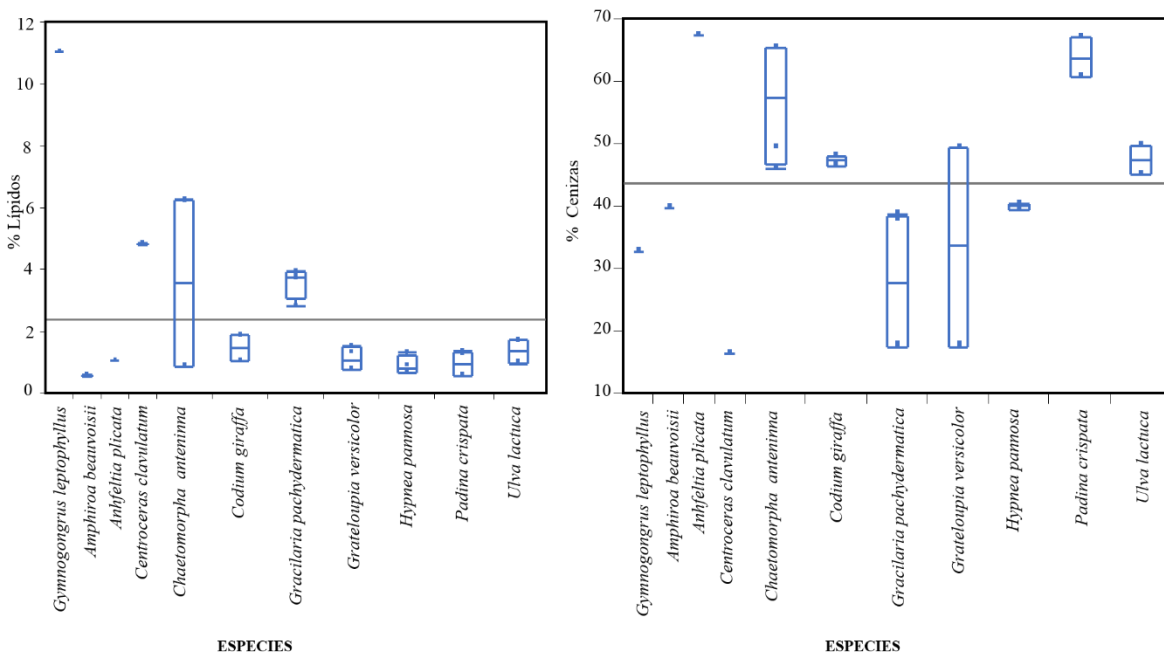


Figura 2. Variación de la concentración de lípidos y cenizas en macroalgas de la costa Michoacana.

**Proteínas:** El contenido de proteínas, fue predominante en *U. lactuca* ya que se presentaron concentraciones por arriba del 10 % en cambio, fue menor en *A. beauvoisii* y *P. crispata*, ya que presentaron concentraciones por debajo del 2%. Sin embargo quien mostró mayor variación fue *G. pachydermatica* mientras que en las demás especies la concentración es homogénea (Figura 3). El análisis estadístico indica

que existen diferencias significativas entre las especies en cuanto al contenido de proteínas ( $\chi^2 = 32,20$ , g.l. = 10,  $p = 0,0004$ ).

**Fibra cruda:** El constituyente correspondiente a la fibra cruda, de igual forma exhibe una fluctuación considerable. El talo que mostró alta variación y la menor proporción de este parámetro, corresponde a *C. antennina* seguido de *G. pachydermatica*, este último también registró la mayor constitución de estos polisacáridos (Figura 3). La prueba estadística corrobora la fluctuación entre especies sobre el contenido de fibra cruda ( $\chi^2 = 30,76$ , g.l. = 10,  $p = 0,0006435$ ).

**Humedad:** La humedad registrada en los talos de macroalgas presentó variación evidente tal como se representa en la figura 4, la especie que mostró mayor variación fue *Gracilaria pachydermatica* seguida de *Grateloupia versicolor*, el talo con mayor contenido corresponde a *Centroceras clavulatum*, cabe resaltar que *Hypnea pannosa* presentó una baja proporción de este parámetro. El análisis estadístico alude diferencias significativas entre especies ( $\chi^2 = 25,53$ , g.l. = 10,  $p = 0,004424$ ).

**Carbohidratos:** La fracción glucídica mostró un concentraciones similares en los talos estudiados, sin embargo *C. anteninna* y *G. versicolor* mostraron la mayor variación respecto a los demás ejemplares (Figura 4). El análisis estadístico contrasta que no hubo diferencias significativas entre especies ( $\chi^2 = 15,4032$ , g.l. = 10,  $p = 0,1180$ ).

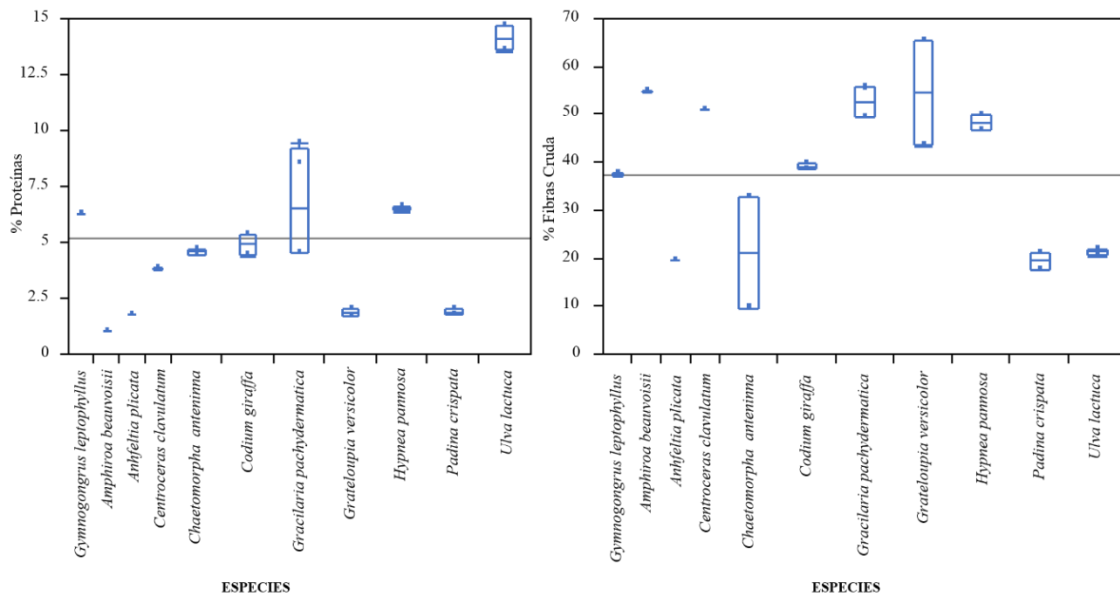


Figura 3. Variación de la concentración de proteínas y fibra cruda en macroalgas de la costa Michoacana.

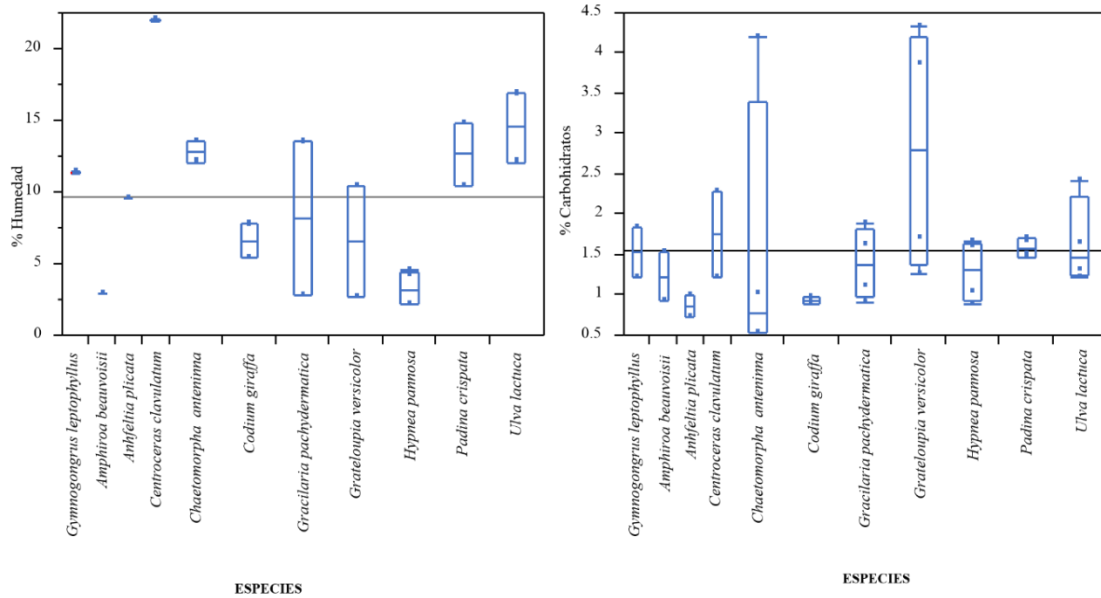


Figura 4. Variación de la concentración de humedad y carbohidratos en macroalgas de la costa Michoacana.

**Agar:** Las proporciones altas de agar se verificaron en *G. versicolor* sin embargo este talo también exhibió una mayor variación. En cambio los organismos con menor cantidad corresponden a *A. plicata* (Figura 5). El análisis estadístico alude que no hay diferencias interespecíficas en cuanto a las proporciones de agar en los talos algales ( $\chi^2 = 11,1727$ , g.l. = 6,  $p = 0,0832$ ).

**Carragenanos:** El rendimiento de carragenanos manifestó una variación evidente, el organismo que exhibió mayor cantidad de dichos compuestos sulfatados fue *G. versicolor*, al igual que una variación evidente, seguido de *G. pachydermatica*, mientras que los organismos con bajas concentraciones son *A. plicata* y *C. clavulatum* (Figura 5). El análisis estadístico exhibe que no hay diferencias interespecíficas en cuanto a las proporciones de agar en los talos algales ( $\chi^2 = 11,1727$ , g.l. = 6,  $p = 0,0832$ ).

#### Pigmentos fotosintéticos

**Clorofila a y clorofila b:** Las altas concentraciones de clorofila a y clorofila b se exhibieron en el talo de *C. giraffa*, cabe mencionar que estos talos presentaron una alta variación. En cambio los organismos con menor concentración fueron *G. versicolor* en clorofila a y *C. antennina* en clorofila b (Figura 6). El análisis estadístico muestra que no existen diferencias sobre las especies en concentraciones de clorofila a ( $\chi^2 = 26,65$ , g.l. = 10,  $p = 0,00261$ ) ni en cuanto a concentraciones de clorofila b ( $\chi^2 = 7,38$ , g.l. = 2,  $p = 0,0249$ ).



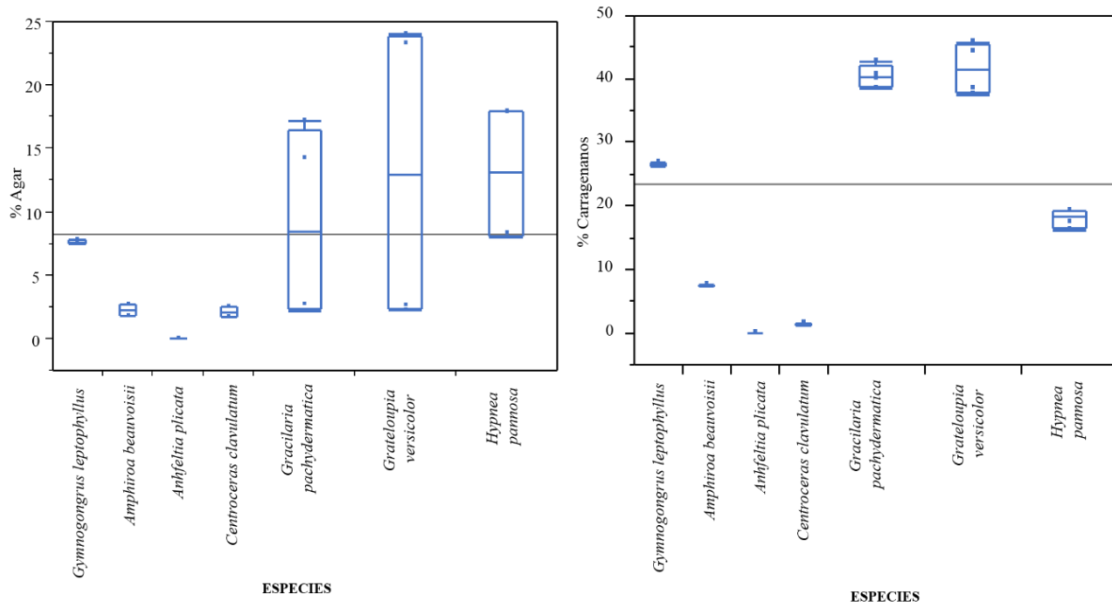


Figura 5. Variación de la proporción de agar y carragenanos en macroalgas de la costa Michoacana.

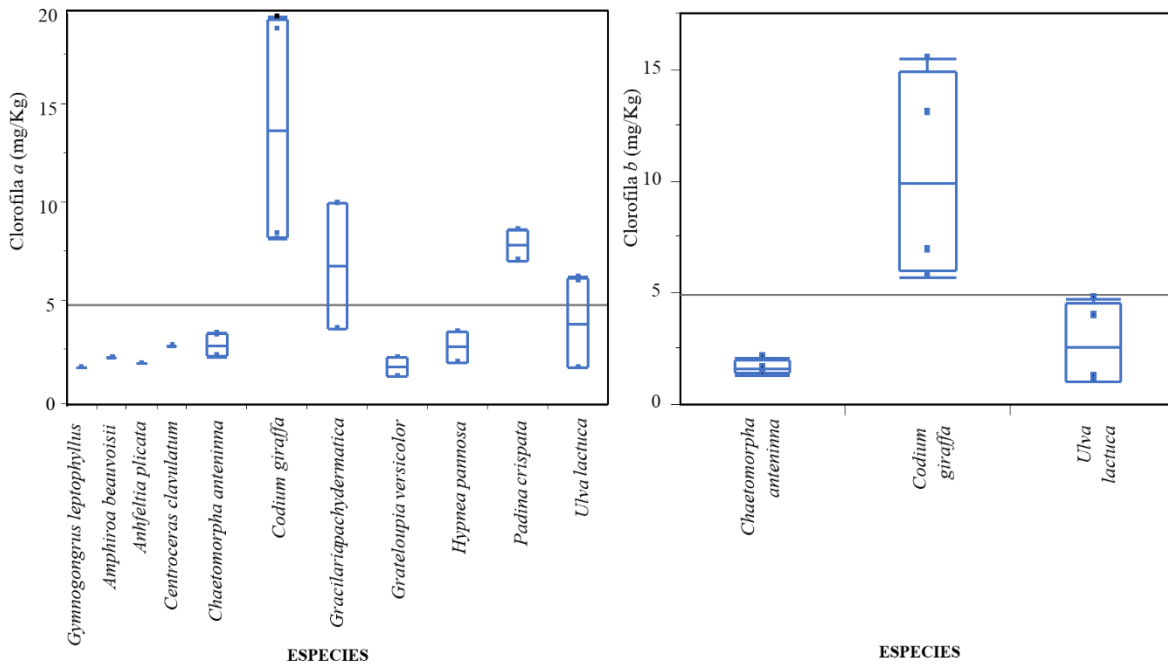


Figura 6. Variación de la concentración de clorofilas a y b en macroalgas de la costa Michoacana.

**Carotenos.** En los pigmentos caroténicos *C. giraffa*, exhibió mayor variación al igual que altas concentraciones, en cambio, *U. lactuca* presentó una menor concentración (Figura 7). El análisis estadístico refleja las diferencias significativas entre especies ( $\chi^2 = 11,1727$ , g.l. = 6,  $p = 0,0832$ ).

*Ficoeritrinas, ficocianinas y aloficocianinas:* Estos pigmentos, mismos que son propios de algas rojas, presentaron una elevada variación, así como concentraciones altas en *G. versicolor* y *G. pachydermatica*, mientras que fueron reportadas bajas concentraciones en *A. plicata* y *A. beauvoisii* (Figura 7 y 8). El análisis estadístico reporta las diferencias significativas entre especies en ficoeritrinas ( $x^2 = 13,40$ , g.l. = 6,  $p = 0,0372$ ), en ficocianinas ( $x^2 = 12,14$ , g.l. = 6,  $p = 0,059$ ) y en aloficocianinas ( $x^2 = 15,55$ , g.l. = 6,  $p = 0,016$ ).

*Fucoxantina;* éste pigmento exclusivo del grupo de algas pardas fue determinado en *Padina crispata*, con un promedio 0,48 mg/kg y una desviación estándar 0,01 mg/kg, en el mesolitoral de Las Peñas, mientras que en el arrecife rocoso de Caleta de Campos alcanza una media aritmética de 0,37 mg/kg con una desviación estándar de 0,01 mg/kg.

*Relación entre la composición bromatológica y la concentración de pigmentos.* Con respecto a la afinidad que presenta la concentración de pigmentos con los componentes bromatológicos, el análisis de correspondencia, establece 6 conglomerados de los cuales las concentraciones moderadamente altas de carbohidratos y carragenanos (Carb3 y Carr3), las concentraciones altas de humedad y agar (Hum4 y Ag4) así como las concentraciones moderadamente bajas a altas de lípidos (Lip2, Lip3 y Lip4) y proporciones moderadamente bajas de fibra cruda (FibC2) dirigen la variación en la concentración de pigmentos fotosintéticos y accesorios (Figura 9 y Tabla 2).

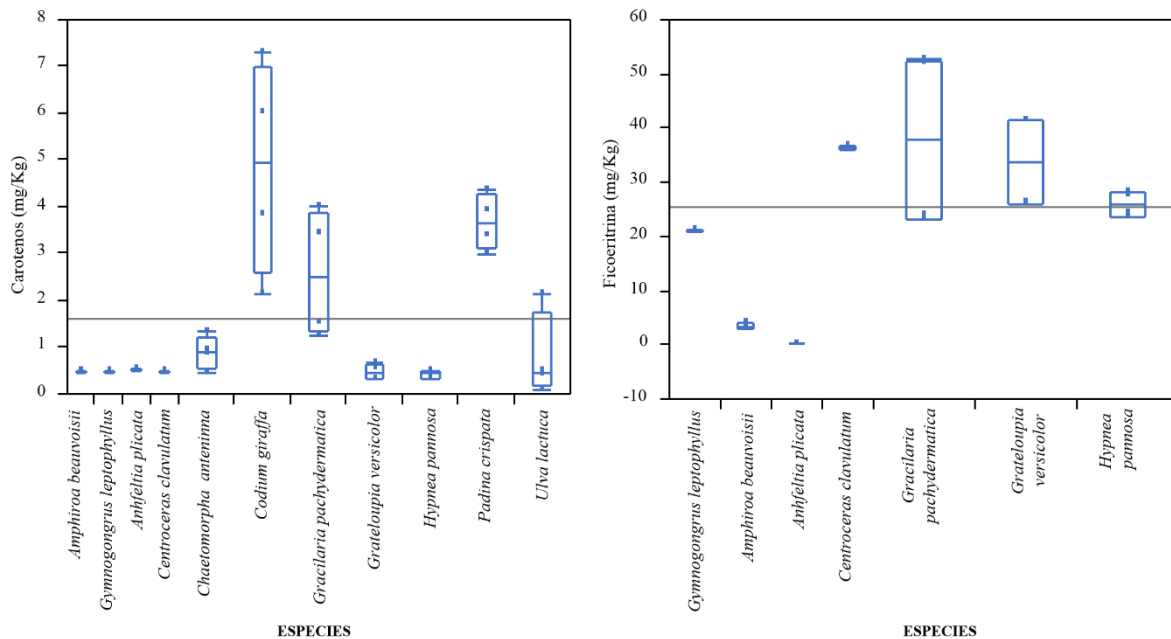


Figura 7. Variación de la concentración de carotenos y ficoeritrinas, en macroalgas de la costa Michoacana.

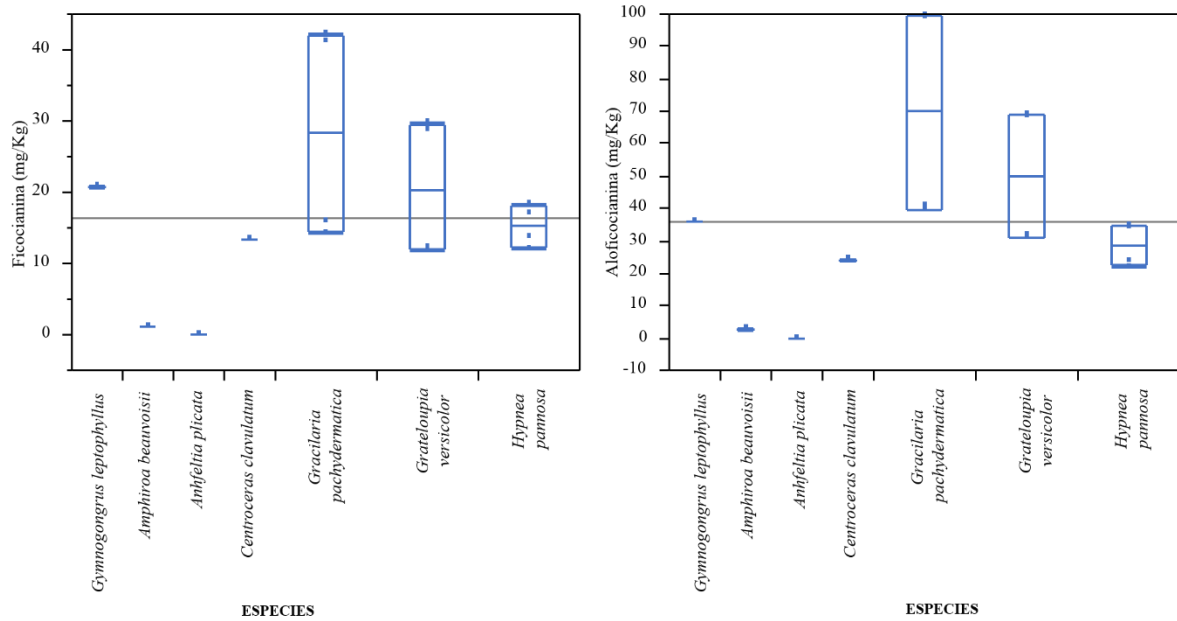


Figura 8. Variación de la concentración de ficocianinas y alococianinas en macroalgas de la costa Michoacana.

Tabla 2. Intervalos de los constituyentes bromatológicos en macroalgas de Michoacán

Constituyente	Intervalo y Código del constituyente			
	Lip1	Lip2	Lip3	Lip4
<b>Lípidos (%)</b>	0,54-3,17	3,17-5,79	5,79-8,42	8,42-11,04
<b>Proteínas (%)</b>	Prot1	Prot2	Prot3	Prot4
	1,03-4,43	4,43-7,84	7,84-11,25	11,25-14,66
<b>Carbohidratos (%)</b>	Carb1	Carb2	Carb3	
	0,52-1,47	1,47-2,42	3,37-4,32	
<b>Fibra Cruda (%)</b>	FibC1	FibC2	FibC3	FibC4
	9,43-23,39	23,39-37,36	37,36-51,32	51,32-65,29
<b>Cenizas (%)</b>	Cen1	Cen2	Cen3	Cen4
	16,21-29,03	29,03-41,84	41,84-54,66	54,66-67,48
<b>Humedad (%)</b>	Hu1	Hu2	Hu3	Hu4
	2,15-7,11	7,11-12,06	12,06-17,01	17,01-21,97
<b>Agar (%)</b>	Ag1	Ag2	Ag3	Ag4
	0-6	6-11,99	11,99-17,99	17,99-23,99
<b>Carragenanos (%)</b>	Carr1	Carr2	Carr3	Carr4
	0-11,43	11,43-22,86	22,86-34,30	34,30-45,73

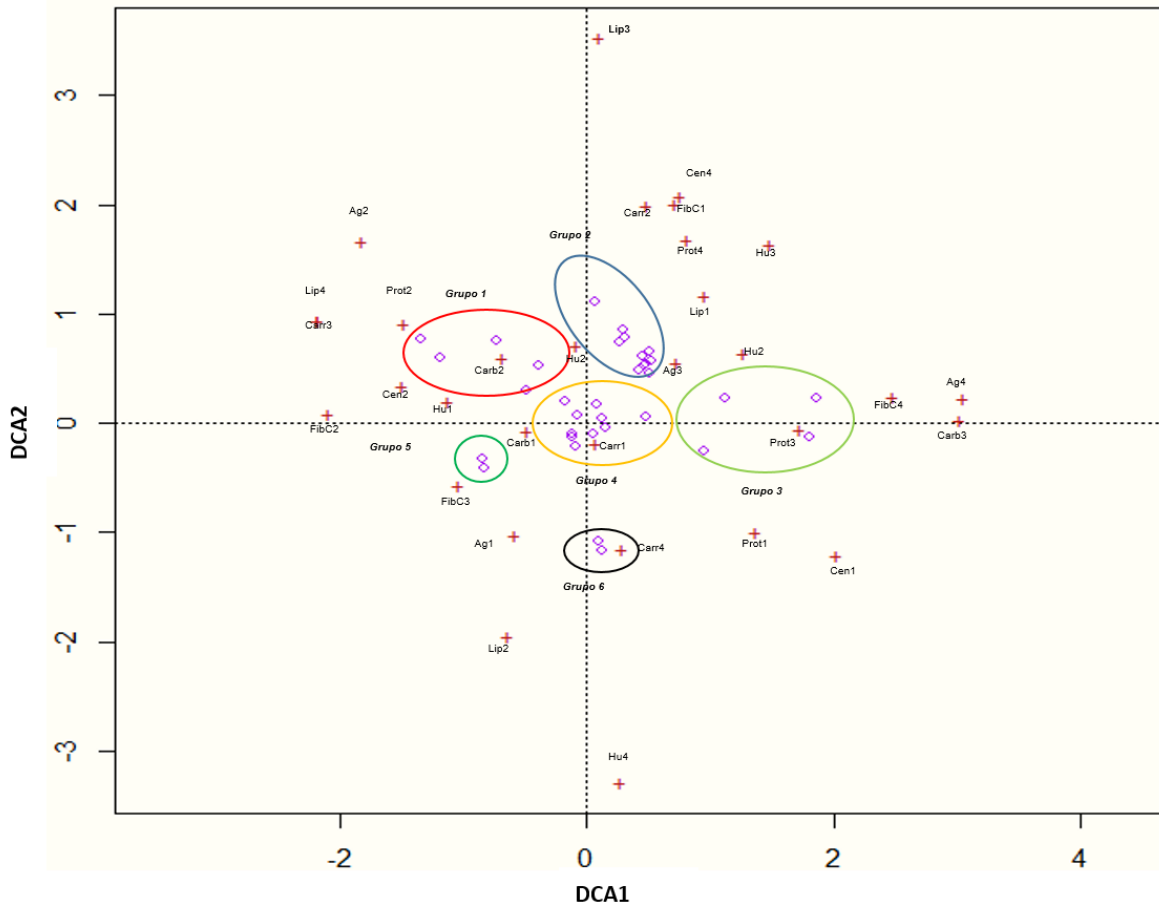


Figura 9. Análisis de ordenación entre la variación inducida por la composición bioquímica de macroalgas de la costa Michoacana.

El grupo 1 conformado por las concentraciones de clorofila *a*, clorofila *b*, ficoeritrina, aloficocianina, ficocianina, y carotenos de *H. pannosa* y *G. leptophyllus* (Figura 9), está influenciado por concentraciones moderadamente bajas de proteínas y fibra cruda (Prot2 y FibC2), altas concentraciones de lípidos (Lip4), así como por bajas concentraciones de carbohidratos (Carb1).

Las concentraciones de carotenos, clorofila *a*, clorofila *b* y fucoxantina, de los talos de *A. plicata*, *U. lactuca*, y *P. crispata*, corresponden al conglomerado 2 (Figura 9), agrupación dirigida por bajas concentraciones de fibra cruda (FibC1), moderadamente bajas de carragenanos (Carr2), moderadamente altas de agar (Ag3), concentraciones altas de proteínas y cenizas (Prot4 y Cen4) así como concentraciones bajas a moderadamente altas de lípidos (Lip1 y Lip3).

El grupo 3 está representado por *G. versicolor* y *G. pachydermatica* las cuales presentan una variación en la concentración de clorofila *a*, clorofila *b*, ficocianina, carotenos y aloficocianinas (Figura 9), dirigidas por la variación de concentraciones, moderadamente bajas de humedad (Hu2), concentraciones

altas de fibra cruda y carragenanos (FibC4 y Ag4) y moderadamente altas de carbohidratos y proteínas (Carb3 y Prot3), así como por concentraciones bajas de proteínas y cenizas (Prot1 y Cen1).

*C. antenna*, *A. beauvoisii* y *C. giraffa* y su concentración de clorofila-a, clorofila b, ficocianina, ficoeritrina, carotenos y aloficocianinas forman el grupo 4 (Figura 9), cuya variación está dirigida por concentraciones bajas de carbohidratos y carragenanos (Carb1 y Carr1).

Además se encontró que las variaciones en las concentraciones de pigmentos fotosintéticos y accesorios de *C. clavulatum* están regidas por concentraciones altas de carragenanos y humedad (Carr4 y Hum4), concentraciones moderadamente bajas de lípidos (Lip2) y concentraciones bajas de agar (Ag1). En el mismo contexto se registró que concentraciones bajas de carbohidratos y agar (Ag1 y Carb1), y concentraciones moderadamente bajas y altas de fibra cruda (FibC2 y FibC3) influyen en la variación de la concentración de pigmentos fotosintéticos y accesorios en *G. pachydermatica* (Figura 9).

## DISCUSIÓN

Dreckman et al. (1993), Stout y Dreckmann (1993), Pacheco y Dreckmann. (1997), Mendoza-Gonzales et al. (2011) y Pedroche (2016) señalan que los representantes de las familias Ceramiace, Dictyotaceae, Gracilariaceae, Ulvaceae, Cladophoraceae y Codiaceae, se caracterizan por el desarrollo de talos algales en alguna estación climática o bien en la mayor parte del año en el área de estudio; en cambio los estudios de Stout y Dreckmann (1993) Fragoso et al. (2010), Mendoza-Gonzales et al. (2011) y Aguilar-Rosas (2012) mencionan que algunas familias como Corallinaceae, Halymeniaceae, Pylophoraceae, y Cystocloniaceae se desarrollan como flora permanente por largos periodos de tiempo en el Pacífico Oriental Tropical de Michoacán. Dreckmann et al. (1990), Stout y Dreckmann (1993) y Pedroche y Senties (2003) sugieren que la biodiversidad ficoflorística del área de estudio se atribuye a que el litoral michoacano forma parte del “mosaico ficoflorístico” es decir una zona fitogeográfica en donde se mezclan elementos de origen tropical y templado reflejándose en alto grado de biodiversidad y el número de endemismos.

Los constituyentes bromatológicos y bioquímicos mostraron una notable variación interespecífica, reportada por diversas investigaciones, las cuales demuestran que la composición bioquímica y los contenidos nutricionales de macroalgas dependen no solo de las características geográficas y de la estación climática de colecta, sino que se atribuyen a un mosaico de variables en las cuales destaca la concentración de macro y micro nutrientes del ambiente (Fleurence 1999, Fleurence et al. 1995, Dere et al. 2003). Sin embargo, Zucchi y Necchi (2001) determinaron que factores fisicoquímicos así como radiación solar, el fotoperiodo y la temperatura pueden alterar la composición pigmentaria. Mientras que Gómez-Pinchetti et al. (1998), Serviere-Zaragosa, (2002) y Villalobos-Medina (2014) concluyen que el ambiente, la estacionalidad y propiedades fisicoquímicas del agua son los factores más importantes que afectan la constitución bromatológica del talo algal.

La fracción proteica reportada en el presente estudio presenta contenidos similares en estudios realizados por Fleurence, (1999); Rupérez y Saura-Calixto, (2001). Sin embargo Johnston, (1966) informa hasta un 32,3% en peso seco de proteína en algas verdes, cercano a los valores encontrados en la presente investigación dentro del grupo de las algas verdes. Las variaciones en el contenido de proteína de algas marinas pueden atribuirse a diferentes factores tales como; las temporadas estacionales, la localización geográfica, las condiciones de almacenamiento y la expresión genética de la variabilidad intraespecífica de la población de algas marinas (Fleurence 1999, Sánchez-Machado *et al.* 2003). Sin embargo Banerjee *et al.*, (2009) encontró que hay una correlación positiva entre la concentración de nitratos en la columna del agua y el porcentaje de proteína en macroalgas en aguas tropicales.

En la presente investigación se observó que la proporción de lípidos fue menor al 10%, coincidiendo con lo reportado por Wong *et al.* (2000), Sánchez-Machado *et al.* (2003), Dawczynski *et al.* (2006), Manivannam *et al.* (2008), Gressler *et al.* (2010), y Kumar *et al.* (2010) para algas marinas. Al igual que el contenido de proteínas, las variaciones en la proporción porcentual de lípidos entre especies están relacionadas con varios factores ambientales, como las características fisicoquímicas del hábitat, la época climática de recolección del ejemplar, la concentración de nitrógeno, la biodisponibilidad de carbono inorgánico y otros compuestos fosfatados en el agua (Ito y Hori, 1989; Fleurence, 1999; Wong *et al.*, 2000; Nelson *et al.*, 2002 y Manivannam *et al.*, 2008).

La fibra cruda presentó una proporción porcentual mayor en las algas rojas, que en los demás grupos, esto contrasta con lo mencionado por Jiménez-Escrig y Goñi, (1999) y Sierra-Vélez (2009) quienes mencionan que la concentración de fibra cruda en algas rojas, se debe a que parte de los polisacáridos estructurales y de reserva, comunes en algas rojas, como alginatos, carragenanos, agar y celulosa pueden ser considerados como compuestos fibrosos, constituyendo una gran parte de la fibra cruda del talo.

El contenido de cenizas evidenció una composición alta, mayor al 20 % y cercana a la reportada por Wong *et al.*, (2000), Sánchez-Machado *et al.*, (2003) Gressler *et al.*, (2010) y Kumar *et al.*, (2010). Cabe resaltar que altas concentraciones de cenizas indican la presencia de diversas sales y minerales tal como lo mencionan McDermid y Stuercke (2003) y Matanjun *et al.*, (2009) ya que en zonas tropicales donde la evaporación es mayor que la precipitación, las algas se encuentran expuestas a aguas con mayor concentración de sales y minerales, propiciando su bioasimilación y por tanto favoreciendo su bioacumulación en el talo.

Los carbohidratos en general mostraron fracciones menores al 3% muy por debajo de las presentadas por Chakraborty y Santra (2008), pero cercanas a las reportadas por Wong *et al.* (2000) y Nisha *et al.* (2012). Estos resultados exhiben la influencia del origen geográfico, el clima y la época climática de recolecta, ya que algunos talos se constituyen de una proporción diferente en hidratos de carbono por

estímulos físicos como el intemperismo, el ciclo de mareas y la exposición a la radiación ultravioleta, variables que incentivan la acumulación de carbohidratos y el engrosamiento de la pared celular de talos expuestos en la zona mesolitoral (Fleurence 1999; Dawczynski *et al.*, 2006). Cabe resaltar que en otras investigaciones se ha reportado que la fracción de carbohidratos corresponde al 10% del peso seco en macroalgas, dejando de lado los carbohidratos de alto peso molecular (Kloareg y Quatrano, 1988 y Darcy-Vrillon, 1993).

La proporción porcentual de carragenanos contrasta con lo que reportan Fredericq *et al.* (1996) y Usov, (1998) para algas rojas. Mientras que la proporción de las fibras de agar presentó valores menores a lo mencionado por Freile-Peregrin y Robledo, (1997). Al respecto Agadi, (1983) menciona que la variación en el contenido de polisacáridos se atribuye a la temperatura, salinidad y ciclos de mareas, las cuales rigen la biomasa algal. Mientras que Rupérez *et al.*, (2002) y Gómez-Ordóñez *et al.*, (2012) indican que el rendimiento de estos polisacáridos está ligada a la técnica de extracción en la cual se pueden registrar pérdidas por el uso intercalado de métodos alcalinos o ácidos.

Las concentraciones de clorofilas a y b y carotenos son cercanas a las reportadas por Sakhivel y Devi (2015) y Méndez *et al.*, (2016), pero elevadas de acuerdo a estudios de Bianchi *et al.*, (1997). Es apreciable las altas concentraciones en el grupo de las Chlorophyta concordando con estudios de Hsu *et al.*, (2013) Syad *et al.*, (2013) y en particular Inanc (2011) quien menciona que estos pigmentos son predominantes en algas verdes.

Los valores de pigmentos ficobiliproteicos mismos de la división Rhodophyta (Gantt, 1990; Werlinger, 2004), son elevados, y se ajustan a lo reportado por Bianchi *et al.*, (1997), Schubert, (2003) y Méndez *et al.*, (2016), quienes reportan concentraciones cercanas a las determinadas en el presente estudio.

Méndez *et al.*, (2016), concuerda que la intensidad de luz es el principal factor que rige las variaciones cromáticas, además de la eficiencia fotosintética del talo algal. Dawes *et al.*, (1978) menciona que las algas rojas responden cromáticamente sintetizando pigmentos como medida de fotoprotección, debido al cambio de longitud de onda que incide sobre la tierra sobre todo en verano. Este fenómeno es conocido como "adaptación cromática" y ha sido reportado en la literatura por García-Sánchez *et al.*, (2014) y Méndez *et al.*, (2016). Otro factor clave en la variación se debe a la correcta limpieza del talo algal previa a su extracción, ya que de no ser así, se cuantifican pigmentos de organismos epifitos entre ellos microalgas (Lüder *et al.*, 2001; Fleurence, 2013).

El Decorana muestra la relación existente entre los constituyentes bromatológicos (carbohidratos, proteínas, lípidos, fibra cruda, humedad, agar y carragenanos) con los pigmentos fotosintéticos y accesorios (clorofilas a y b, carotenos, fucoxantinas, ficoeritrinas y aloficocianinas). Esta relación se debe

principalmente a la dependencia de átomos de carbono que conforman monosacáridos y polisacáridos, cadenas de ácidos grasos de lípidos, así como partículas inorgánicas de cenizas, en particular metales alcalinotérreos como el  $Mg^{++}$  para la síntesis de pigmentos, los cuales se basan en estructuras poliméricas de carbono y otros elementos traza (Pise y Sabale, 2010).

#### CONCLUSIONES

El análisis bioquímico y proximal mostró que la variación en la composición de los talos de macrófitos examinados (proteínas, lípidos, cenizas, carbohidratos, humedad, agar, carragenanos y pigmentos fotosintéticos) se rige por agentes fisicoquímicos, factores ambientales y aspectos fisio-geográficos, expresiones genéticas y en algunos casos el método de colecta, así como por el protocolo de extracción y cuantificación de los componentes. Cabe resaltar que las concentraciones que fueron obtenidas de los talos que se encuentran en el Pacífico Oriental del estado de Michoacán presentan una variación similar a los estudios documentados en varias algas que tradicionalmente se utilizan en la alimentación animal, por lo cual se considera que las asociaciones ficoflorísticas del estado de Michoacán pueden detonar el desarrollo de actividades productivas encaminadas a procesos biotecnológicos que utilicen a los talos de las macrófitas examinadas en la industria de los ficocoloides, suplementos alimenticios, forraje, industria cosmética, biotecnología médica. Por lo tanto se recomienda en el estado de Michoacán el aprovechamiento de las poblaciones de *U. lactuca*, *G. versicolor* y *G. pachydermatica* como principales recursos para su transformación biotecnológica y el desarrollo de actividades productivas en la región costera del estado.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores ponemos de manifiesto nuestro agradecimiento a la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por el soporte económico para el desarrollo de la presente investigación, así como a los programas de movilidad académica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, particularmente el programa de Verano Nicolaita por el apoyo brindado para el buen término de la presente investigación. Por otro lado los autores manifestamos nuestro profundo agradecimiento al D.C. Patricio de los Ríos Escalante “un chileno muy avisado” por sus valiosos comentarios y su apoyo.



#### REFERENCIAS

- A. O. A. C. 1999. Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists. 16 th Ed., 5 th revision. Washington, D. C. EEUU 1545 pp
- Acquistucci, R., Bucci, R., Magri, A. D., y Magri, A. L. 1991. Evaluation of the moisture and ash contents in wheat mills by multistep programmed thermogravimetry. *Acta Thermochimica*, 188: 51
- Agadi, V. V. 1983. Intertidal ecology of marine algae along Anjuna coast, Goa. *Seaweed Research Util*, 6: 27-30.
- Aguilar-Rosas, L. E., Min Boo, S., Mi Kim, K., & Aguilar-Rosas, C. V. 2012. Primer registro de la especie japonesa *Grateloupia turuturu* (Halymeniaceae, Rhodophyta) en la costa del Pacífico mexicano. *Hidrobiológica*, 22: 189-194.
- Andersson M, Schubert H, Pedersén M. 2006. Different patterns of carotenoid composition and photosynthesis acclimation in two tropical red algae. *Marine Biology* 149: 653-665
- Ávila Ortiz, A. y F. F. Pedroche. 2005. El género *Padina* (Dictyotaceae, Phaeophyceae) en la región tropical del Pacífico mexicano. *Monografías ficológicas*, A. Senties G. y K. Dreckmann (eds.) F. p. 139-171
- Banerjee, K., Ghosh, R., Homechaudhuri, S., & Mitra, A. 2009. Biochemical composition of marine macroalgae from Gangetic Delta at the apex of Bay of Bengal. *African Journal of Basic & Applied Sciences*, 1: 96-104.
- Bianchi, T. S., Kautsky, L., & Argyrou, M. 1997. Dominant chlorophylls and carotenoids in macroalgae of the Baltic Sea (Baltic proper): their use as potential biomarkers. *Sarsia*, 82:, 55-62.
- Bixler, H. J., y Porse, H. 2011. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology*, 23: 321-335.
- Casas-Valdez, M, Hernández-Contreras, H, Marín-Álvarez, A, Aguila-Ramírez, R.N, Hernández-Guerrero, C.J, Sánchez-Rodríguez, I, & Carrillo-Domínguez, S. 2006. El alga marina *Sargassum* (Sargassaceae): una alternativa tropical para la alimentación de ganado caprino. *Revista de Biología Tropical*, 54: 83-92
- Chakraborty, S. y Santra, S. C. 2008. Biochemical composition of eight benthic algae collected from Sunderban. *Indian Journal of Marine Sciences*. 37: 329-332
- Cho, T. O., M. B. Sung, M. H. Hommersand, C. A. Maggs, L. McIvor y S. Fredericq. 2008. *Gayliella* gen. nov. in the Tribe Ceramieaea (Ceramieaceae, Rhodophyta) based on molecular and morphological evidence. *Journal of Phycology* 44:721738.

Correa y Gómez R. 2003 H.E. Antaramián (Ed.), Geografía física. Atlas Geográfico del Estado de Michoacán, SEEM/UMSNH/EDISSA, S.A. de C.V., Morelia (2003), pp. 42–46

Craigie, J.S. and Leigh, C. 1978. Carrageenans and agars. In: Hellebust and Craigie (eds). Handbook of Phycological and Biochemical Methods. Cambridge Univ. Press, pp. 109–131.

Darcy-Vrillon, B. 1993. Nutritional aspects of the developing use of marine macroalgae for the human food industry. International Journal of Food Sciences and Nutrition (United Kingdom).

Dawes, C. J., Moon, R. E., & Davis, M. A. 1978. The photosynthetic and respiratory rates and tolerances of benthic algae from a mangrove and salt marsh estuary: a comparative study. Estuarine and Coastal Marine Science, 6: 175-185.

Dawczynski, C., Rainer, S., Gerhard, J. 2006. Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. Food Chemistry 103: 891–899

De Lara-Issasi, G., A. Sobrino-Figueroa, C. Lozano Ramírez, M. Ponce Márquez & E. Dreckman. 1989. Evaluación de la actividad antibiótica de las macroalgas de la costa de Michoacán, México. Boletín del Instituto Oceanográfico. Venezuela, Univ. Oriente 28: 99-104.

Dere, S., Dalkiran, N., Karacaoglu, D., Yildiz, G., & Dere, E. 2003. The determination of total protein, total soluble carbohydrate and pigment contents of some macroalgae collected from Gemlik-Karacaali (Bursa) and Erdek-Ormanli (Balikesir) in the Sea of Marmara, Turkey. Oceanologia, 45(3).

Dreckmann, K.M., F.F. Pedroche & A. Senties. 1990. Lista florística de las algas marinas bentónicas de la costa norte de Michoacán, México. Boletín Sociedad Botánica de México 50: 19-42.

Fleurence, J. 1999. Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. Trends in Food Science and Technology. 10: 25-28.

Fleurence, J. 2013. Variation in the biochemical composition of the edible seaweed *Grateloupia turuturu* Yamada harvested from two sampling sites on the Brittany coast (France): The influence of storage method on the extraction of the seaweed pigment R-phycoerythrin. Journal of Chemistry, 2013. s <http://dx.doi.org/10.1155/2013/568548>

Fleurence, J., Le Coeur, C., Mabeau, S., Maurice, M., & Landrein, A. 1995. Comparison of different extractive procedures for proteins from the edible seaweeds *Ulva rigida* and *Ulva rotundata*. Journal of Applied Phycology, 7: 577-582.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1993. Manual de control de calidad de alimentos. Roma, Italia.

Fragoso, D., Ramírez-Cahero, F., Rodríguez-Galván, A., Hernández-Reyes, R., Heredia, A., Rodríguez, D. y Basiuk, V. A. 2010. Caracterización del biomineral CaCO<sub>3</sub> en algas rojas coralinas (Corallinales) de las costas del Pacífico mexicano. *Ciencias marinas*, 36: 41-58.

Fredericq, S., Hommersand, M. H., & Freshwater, D. W. 1996. The molecular systematics of some agar-and carrageenan-containing marine red algae based on rbcL sequence analysis. In *Fifteenth International Seaweed Symposium* (pp. 125-135). Springer Netherlands.

Freile-Pelegrín, Y., & Robledo, D. 1997. Influence of alkali treatment on agar from *Gracilaria cornea* from Yucatan, Mexico. *Journal of applied Phycology*, 9: 533-539.

Gantt, E. (1990). Pigmentation and photoacclimation. *Biology of the red algae*. Cambridge University Press, Cambridge, 203-221.

García E. 1981. Modificaciones al sistema climático de Köppen (para adaptarlo a la República Mexicana), Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. p. 493

García-Sánchez, M., Korbee, N., Pérez-Ruzafa, I. M., Marcos, C., Figueroa, F. L., & Pérez-Ruzafa, Á. 2014. Living in a coastal lagoon environment: Photosynthetic and biochemical mechanisms of key marine macroalgae. *Marine environmental research*, 101: 8-21.

Glessner, V., Sumie Y. N., Toyota F. M., Colepicolo P., Mancini F. J., Pavan T. R., Pinto E. 2010. Lipid, fatty acid, protein, amino acid and ash contents in four Brazilian red alga species. *Food Chemistry*. 120: 585-590.

Gómez Pinchetti, J. L., del Campo Fernández, E., Moreno Díez, P., & Reina, G. G. 1998. Nitrogen availability influences the biochemical composition and photosynthesis of tank-cultivated *Ulva rigida* (Chlorophyta). *Journal of Applied Phycology*, 10: 383-389.

Gómez-Ordóñez, E., Jiménez-Escrig, A., & Rupérez, P. 2012. Molecular weight distribution of polysaccharides from edible seaweeds by high-performance size-exclusion chromatography (HPSEC). *Talanta*, 93: 153-159.

González, S., Galindo, L., González, A. D., y Kafarov, V. 2010. Adaptación del método Bligh & Dyer a la extracción de lípidos de microalgas nativas para la producción de biodiesel. In *Book of abstracts. XXIX Latin American Chemistry Congress—CLAQ*

Gosch, B. J., Magnusson, M., Paul, N. A., y Nys, R. 2012. Total lipid and fatty acid composition of seaweeds for the selection of species for oil-based biofuel and bioproducts. *Gcb Bioenergy*, 4: 919-930.

Hill, M.O. and Gauch, H.G. 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetation* 42, 47–58. ISO 690

Hsu, C. Y., Chao, P. Y., Hu, S. P., & Yang, C. M. 2013. The antioxidant and free radical scavenging activities of chlorophylls and pheophytins. *Food and Nutrition Sciences*, 4: 1–8

Inanc, A. L. 2011. Chlorophyll: Structural properties, health benefits and its occurrence in virgin olive oils. *Akademik Gida*, 9: 26–32

Ito, K., & Hori, K. 1989. Seaweed: chemical composition and potential food uses. *Food reviews international*, 5: 101-144.

Jiménez-Escrig, A., & Goñi Cambrodón, I. 1999. Nutritional evaluation and physiological effects of edible seaweeds] *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 49(: 114–20.

Johnston HW. 1966 The biological and economic importance of algae. Part 2. *Tatuara* 14: 30-63

Klein, G. V. de. 1985. Sandstone depositional models for exploration for fossil fuels, *International Human Resources Development Corporation*, Boston p. 114

Kloareg, B.; Quatrano, R.S. 1988. Structure of the cell walls of marine algae and ecophysiological functions of the matrix polysaccharides. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 26: 259-315

Kuda T, Taniguchi E, Nishizawa M, Araki Y. 2002. Fate of watersoluble polysaccharides in dried *Chorda filum*, a brown alga, during water washing. *Journal of Food Composition Analysis*. 15: 3–9

Kumar, M., Vishal, G., Puja, K., C.R.K. Reddy B. Jha. 2010. Assessment of nutrient composition and antioxidant potential of *Caulerpaceae* seaweeds. *Journal of Food Composition and Analysis* 24: 270–278

Lahaye M.1991. Marine algae as sources of fibers: determination of soluble and insoluble dietary fiber contents in some sea vegetables. *Journal of Science of Food and Agriculture* 54:587–594

Lüder, U., Knoetzel, J., & Wiencke, C. 2001. Acclimation of photosynthesis and pigments to seasonally changing light conditions in the endemic Antarctic red macroalga *Palmaria decipiens*. *Polar Biology*, 24: 598–603.

Manivannam, K., G. Thirumaran, G. Karthikai., A. Hemalatha. P. Anantharaman. 2008. Biochemical Composition of Seaweeds from Mandapam Coastal Regions along Southeast Coast of India. *American-Eurasian Journal of Botany*, 1: 32-37

Mariotti, F., Tomé, D., y Mirand, P. P. 2008. Converting nitrogen into protein—beyond 6.25 and Jones' factors. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48, 177-184.

Martinell, L. N., & Gold, M. 1997. Ficoflora de las desembocaduras del estado de Michoacán, México. *Ciencia ergo-sum*, 4: 103-107.

Matanjun, P., Mohamed, S., Mustapha, N. M., & Muhammad, K. 2009. Nutrient content of tropical edible seaweeds, *Eucheuma cottonii*, *Caulerpa lentillifera* and *Sargassum polycystum*. *Journal of Applied Phycology*, 21: 75-80.

Mateo-Cid, L.E., Mendoza.-Gonzales, A.C. 2012. Algas marinas bentónicas de la costa noroccidental de Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. México. 83: 905-928

McDermid, K. J., & Stuercke, B. 2003. Nutritional composition of edible Hawaiian seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, 15: 513-524.

McHugh DJ. 2003. A guide to the seaweed industry. *FAO Fish.Tech. Pap.* 441.

Méndez, F., Yokoya, N., Marambio, J., Rodriguez, J. P., & Mansilla, A. 2016. Composición pigmentar de variantes amarillas y rojas de *Ahnfeltia plicata* (Ahnfeltiaceae, Rhodophyta) en la Región de Magallanes. *Anales del Instituto de la Patagonia* 44: 15-23.

Mendoza-González, A. C., Mateo-Cid, L. E., & García-López, D. Y. 2015. Three Uncommon Seaweeds of the Pacific Coast of Mexico. *American Journal of Plant Sciences*, 6: 3187.

Mendoza-González, A. Catalina; Mateo-Cid, Luz Elena & Galicia-García, Citlali. 2011. Integración florística de las algas marinas de la costa sur de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82: 19-49.

Moo-Puc, R., D., Robledo, & F. Peregrin. 2009. Actividad citotóxica y antiproliferativa in vitro de macroalgas marinas de Yucatán, México. *Ciencias Marinas* 35: 345-358

Nelson MM, Phleger CF, Nichols PD. 2002 Seasonal lipid composition macroalgae of the northeastern Pacific Ocean. *Botanica Marina*. 45: 58-65

Neori, A. 2008. Essential role of seaweed cultivation in integrated multi-trophic aquaculture farms for global expansion of mariculture: an analysis. *Journal of Applied Phycology*, 20: 567-570.

Nisha, S. A., Karutha P. S., Pandima D. K. 2012. Seaweed as nutritional supplements: Analysis of nutritional profile, physicochemical properties and proximate composition of *G. acerosa* and *S. wightii*. *Biomedicine & Preventive Nutrition* 3: 139–144

Norris, J. N. 2010. Marine algae of the northern Gulf of California: Chlorophyta and Phaeophyceae. *Smithsonian Contributions to Botany* 94:1-276.

Ortega, M. M. G., Garduño S. y J. L. 2002. Una clave de campo para las algas verdes de las costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe. AGT. Editor. S.A. México, D.F. 72pp.

Pacheco, M. B., & Dreckmann, K. M. 1997. Chlorophyta (algas verdes) marinas bentónicas intermareales de Michoacán, Pacífico mexicano. *Polibotánica*, (6), 0. 33pp

Pak, N., & Araya H. 1996. Valor nutritivo y aportes de fibra dietética (soluble e insoluble) de macro-algas marinas comestibles de Chile, crudas y cocidas Instituto de Investigaciones Agropecuarias, (INIA), Chile Base de Información Bibliográfica Agrícola Chilena. *Alimentos*, 21: 63-69 pp.

Pedroche, F. F. 2016. Análisis de especies algales marina en los litorales mexicanos. Propuesta de una estrategia de estudio. *Hidrobiológica*, 1(1). Disponible en <http://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/viewFile/519/113>

Pedroche, Francisco F., & Senties G. 2003. Ficología marina mexicana: Diversidad y Problemática actual. *Hidrobiológica*, 13(1), 23-32.

Pise, N. M., & Sabale, A. B. 2010. Effect of seaweed concentrates on the growth and biochemical constituents of. *Journal of Phytology*, 2(4). Disponible en <http://scienceflora.org/journals/index.php/jp/article/view/2125>

Prajapati, V. D., Maheriya, P. M., Jani, G. K., & Solanki, H. K. 2014. Carrageenan: a natural seaweed polysaccharide and its applications. *Carbohydrate polymers*, 105: 97-112.

R Core Team, 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Disponible en: <https://www.r-project.org>

Rajendran, N., Puppala, S., Sneha Raj, M., Ruth Angeeleena, B., & Rajam, C. 2012. Seaweeds can be a new source for bioplastics. *Journal of Pharmacy Research* Vol, 5: 1476-1479.

Rebours, C., Marinho-Soriano, E., Zertuche-González, J. A., Hayashi, L., Vásquez, J. A., Kradolfer, P. & Hovelsrud, G. 2014. Seaweeds: an opportunity for wealth and sustainable livelihood for coastal communities. *Journal of applied phycology*, 26: 1939-1951.

Robledo, D., & Freile-Pelegrín, Y. 2011. Prospects for the cultivation of economically important carrageenophytes in Southeast Mexico. *Journal of Applied Phycology*, 23: 415-419.

Rodríguez, R. R., Arredondo-Vega, B. O., Granados, T. R., Cordoba, M., Vivas, J. M. L., & Lopez-Calderon, J. M. 2012. Approaches and Perspectives About Biodiesel and Oil Production Using Algae in Mexico. In *The Science of Algal Fuels* (pp. 269-282). Springer Netherlands.

Rupérez, P., & Saura-Calixto, F. 2001. Dietary fibre and physicochemical properties of edible Spanish seaweeds. *European Food Research and Technology*, 212: 349–354.

Rupérez, P., Ahrazem, O., & Leal, J. A. 2002. Potential antioxidant capacity of sulfated polysaccharides from the edible marine brown seaweed *Fucus vesiculosus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 840-845.

Sakthivel, R., y Devi, K. P. 2015. Evaluation of physicochemical properties, proximate and nutritional composition of *Gracilaria edulis* collected from Palk Bay. *Food Chemistry*, 174, 68-74.

Sánchez-Machado, D.I., J. Lopez-Cervantes, J.López-Hernández, P. Paseiro-Losada. 2003. Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food Chemistry* 85: 439–444  
<http://doi:10.1016/j.foodchem.2003.08.001>

Schubert, N. 2003. Mecanismos de fotoprotección en algas rojas de interés comercial de Bahía de los Ángeles (Golfo de California, México). *ISO 690*

Serviere-Zaragoza, E., Gómez-López, Dalia., y Ponce-Díaz, G. 2002. Gross chemical composition of three common macroalgae and a sea grass on the Pacific coast of Baja California, Mexico. *Hidrobiológica*, 12: 113-118.

Sierra-Vélez, L., & Álvarez-León, R. 2009. Comparación Bromatológica de las algas nativas (*Gracilariopsis tenuifrons*, *Sargassum filipendula*) y exóticas (*Kappaphycus Alvarezii*) del caribe colombiano. *Boletín científico centro de museos museo de historia natural*. 13: 17.

Stout, I. & K.M. Dreckmann. 1993. Macroalgas bentónicas de Faro de Bucerías, Michoacán, México. Anales Instituto Biología Universidad Nacional Autónoma México. Serie Botánica 64: 1-23.

Syad, A. N., Shunmugiah, K. P., & Kasi, P. D. 2013. Seaweeds as nutritional supplements: Analysis of nutritional profile, physicochemical properties and proximate composition of *G. acerosa* and *S. wightii*. Biomedicine & Preventive Nutrition, 3: 139–144

Toledo, L. Bozada. 2002. El delta del río Balsas. Medio ambiente, pesquerías y sociedad, Instituto Nacional de Ecología, El Colegio de Michoacán, A.C., México. D.F. p. 294

Tseng, C. K. 2001. Algal biotechnology industries and research activities in China. Journal of Applied Phycology, 13: 375-380.

Usov, A. I. 1998. Structural analysis of red seaweed galactans of agar and carrageenan groups. Food Hydrocolloids, 12: 301-308.

Villalobos Medina, J. P. 2014. Utilización de las macroalgas *Ulva lactuca* y *Gracilaria parvispora* en la formulación de dietas balanceadas para el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. Disponible en <http://itzamna.bnct.ipn.mx/handle/123456789/13057>

Werlinger, C., Alveal, V. K., & Romo, H. 2004. *Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos*. Consejo Nacional del Libro y la Lectura. Disponible en <http://www.invemar.org.co>

Wijesinghe, W. A. J. P., & Jeon, Y.-J. 2012. Biological activities and potential industrial applications of fucose rich sulfated polysaccharides and fucoidans isolated from brown seaweeds: A review. Carbohydrate Polymers, 88: 13–20.

Wong, K.H. and P.C.K. Cheung. 2000. Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds part I-proximate composition, amino acid profiles and some physico-chemical properties. Food Chemistry, 71: 475-482

Zertuche, G. J. A. 2013. Aprovechamiento de las macroalgas marinas en México. Estado actual y retos futuros. Memorias del VII Congreso Nacional de Ficología. Universidad Nacional Autónoma de México. México DF. 04-09 pp

Zucchi, M. R., & Necchi, O. (2001). Effects of temperature, irradiance and photoperiod on growth and pigment content in some freshwater red algae in culture. Phycological Research, 49: 103-114.