

**UNIVERSIDAD DEL MAR**  
*campus Puerto Ángel*



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA BIOMASA FLOCULADA  
Y SECA DE MICROALGAS MARINAS COMO FUENTE  
POTENCIAL PARA ALIMENTO FUNCIONAL**

TESIS

Que para obtener el Título Profesional de

**Licenciada en Biología Marina**

Presenta

**Blanca Lorena Hernández Barrera**

Directora

**M. en C. Alejandra Torres Ariño**

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México, 2016

## Resumen

El procesamiento de microalgas, puede modificar la calidad final de la biomasa y junto con su activa proliferación, son puntos importantes para seleccionar su cultivo y producción. En este trabajo se evaluó el crecimiento poblacional y la calidad de la biomasa procesada de ocho cepas de microalgas marinas *Dunalliella* sp., (DUN), *Dunalliella salina* (DUNS), *Tetraselmis suecica* (TETS), *Tetraselmis* sp., (TET), *Tetraselmis gracilis* (TETG), la *Nannochloropsis* sp (Y-3); *Isochrysis galbana* var. *tahitiana* (ISGT) y *Rhodella reticulata* (RHOR) a partir de la composición bioquímica proximal (proteínas, lípidos y carbohidratos), perfil de aminoácidos y ácidos grasos. Las microalgas se cultivaron en condiciones controladas de laboratorio ( $13.5 \mu\text{molE}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  (1000 lux)), temperatura  $23 \pm 1$  °C) en el medio Q Foska© Foliar, a una concentración final de nitrógeno de 2.14 mM y en un volumen de 10 L. La biomasa microalgal fue cosechada por floculación (adición de NaOH), en la fase estacionaria tardía, lavada con formiato de amonio al 3 % para eliminación de sales y secada en horno a 60 °C de 24-48 h. Para determinar el contenido total de sales se utilizó el método de calorimetría por combustión. La cepa *Nannochloropsis* sp. (Y-3) tuvo la concentración celular más alta ( $4.81 \times 10^8 \text{ cél} \cdot \text{mL}^{-1}$ ), seguida de ISGT ( $8.0 \times 10^7 \text{ cél} \cdot \text{mL}^{-1}$ ), mientras que DUN, TET, TETG, TETS y RHOR se presentaron en un intervalo de mayor a menor de  $28$  a  $16 \times 10^6 \text{ cél} \cdot \text{mL}^{-1}$ . Fue evidente la pérdida de proteínas (1.24-6.95 %), aminoácidos (<1.83 %), y carbohidratos (0.89-4.65 %), los cuales están por debajo de lo reportado en la literatura para todas las cepas. El contenido de lípidos se mantuvo variables en las tres cepas de *Tetraselmis*, dos de *Dunalliella* y *Nannochloropsis* sp., (Y-3) (5.53-7.74 %), así como la composición de los ácidos grasos. De ahí que el contenido bioquímico fue afectado durante el procesamiento (cosecha por floculación, lavado y secado), no obstante, no se descarta el uso de estas microalgas como alimento funcional y es importante enfocarse en el mejoramiento del procedimiento para obtener biomasa.

**Palabras clave:** análisis proximal, biomoléculas, calorimetría de combustión, cinéticas.

## **Dedicatoria**

**A la persona que me apoyó e impulsó, incondicionalmente, para concluir este proyecto de vida, recordándome que la vida es un regalo, con grandes oportunidades para no permitir que las adversidades me abatan; con mucho cariño a la M. en C. Alejandra Torres Ariño.**

## **Agradecimientos**

Durante el desarrollo de este trabajo fueron muchas las personas que me motivaron a ser perseverante, para concluir con este proyecto y no me queda más que darles mis más sinceros agradecimientos aunque muchas veces las palabras no llegan a describir el profundo agradecimiento del corazón.

Primeramente agradezco a Dios por permitirme terminar esta etapa de vida y por todas las personas que puso en el transcurso del camino.

Quiero dar mis más sinceros agradecimientos a mi directora de Tesis M. en C. Alejandra Torres Ariño, por su apoyo incondicional en todo momento, quien me dio la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, por su amistad sincera, por el apoyo económico y abrirme las puertas de su casa, muchas gracias. Además, por el financiamiento a través de los recursos de los proyectos: Aislamiento, caracterización y producción de microalgas y el de Potencial Biotecnológico de cianobacterias y microalgas del estado de Oaxaca (UMAR).

A la Dra. Bertha Olivia Arredondo Vega (Kitty) del Laboratorio de Biotecnología de Microalgas del CIBNOR, por abrirme las puertas de su laboratorio y de su casa para hospedarme durante las estancias, por los paseos por La Paz. Sobre todo por el tiempo dedicado a enseñarme. Por darme la oportunidad para trabajar con su *Spirulina*, aunque fue pesado en su momento, extraño esos desvelos dedicados al trabajo, también por su apoyo económico Kitty, muchas gracias y por tu amistad. Asimismo, por el aporte a este trabajo, por la información brindada gracias!, y por el apoyo a través de los recursos del proyecto 925-0 para realizar los análisis de la composición bioquímica y del perfil de ácidos grasos de las microalgas de este estudio.

Un profundo agradecimiento al profesor M. en C. Saúl Jaime Serrano por su tiempo y disposición, por su paciencia y contribución a este trabajo.

Al Dr. Juan Mentado Morales por su valiosa aportación a este trabajo por su apoyo y amable dedicación en la etapa experimental.

Al Dr. Raúl Salas Coronado de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, ya que sin conocerme me brindó su apoyo, contribuyendo además con acertados comentarios para mejorar este trabajo.

A los técnicos auxiliar: Monserrat López Ilescas y Ana Ester Meléndez Patiño, a ti Anita, por tu amistad sincera y por el apoyo económico, a tí y a tu familia, muchas gracias!

A Pedro Eder (Capitán Pey) gracias por los momentos agradables durante el trabajo, gracias por tu apoyo.

Agradezco a mi familia otro motivo más, para superarme profesionalmente, gracias por su apoyo moral. A la familia que aquí encontré, por su apoyo y afecto brindado en todos estos años.

A mis amigos, por su apoyo y palabras de aliento y a mis compañeros quienes me hicieron pasar gratos momentos

A mis profesores, y a todas las personas que en su momento estuvieron a mi lado,

A TODOS, ¡MUCHAS GRACIAS!

## ÍNDICE

No.		Página
	Resumen	i
	Dedicatoria	ii
	Agradecimientos	iii
	Índice	v
	Índice de figuras	vii
	Índice de tablas	ix
	Abreviaturas y símbolos	x
	Glosario	xi
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
	1.1 Alimentos funcionales	1
	1.2 Microalgas como fuente natural de compuestos bioactivos	1
	1.3 Cultivo de microalgas	3
	1.4 Composición bioquímica de microalgas	5
	1.5 Métodos de cosecha de microalgas	6
	1.5.1. Floculación	6
	1.5.2 Secado y lavado	7
<b>2</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>9</b>
	2.1 Historia de las microalgas en la alimentación	9
	2.2 Crecimiento y composición química	10
	2.3 Influencia del procesamiento en la calidad de la biomasa	11
	2.3.3 Influencia del método de cosecha	12
	2.3.4 Influencia del método de secado	13
	2.4 Nuevas tecnologías para extracción de compuestos funcionales	14
<b>3</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>HIPÓTESIS DE TRABAJO</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
	5.1 General	15
	5.2 Particulares	15
<b>6</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>15</b>
	6.1 Microalgas empleadas	15
	6.2 Cultivo de microalgas	17
	6.3 Recuento celular y obtención de cinéticas de crecimiento	18
	6.4 Cosecha de biomasa	19
	6.5 Secado de biomasa	19
	6.6 Eliminación de sales	20
	6.7 Calorimetría por combustión	21
	6.8 Evaluación de la composición bioquímica proximal	22
	6.8.1 Extracción y cuantificación de proteínas	22
	6.8.2 Extracción y cuantificación de aminoácidos	24
	6.8.3 Extracción y cuantificación de lípidos totales	24
	6.8.4 Extracción y cuantificación de ácidos grasos	25
	6.8.5 Extracción y cuantificación de carbohidratos	26
	6.9 Análisis estadístico	28

<b>7</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>29</b>
	7.1 Curvas de crecimiento	<b>29</b>
	7.1.1 Caracterización de las etapas del crecimiento poblacional de <i>Dunalliella</i> sp. (DUN)	<b>30</b>
	7.1.2 Caracterización de las etapas del crecimiento poblacional de <i>Dunalliella salina</i> (DUNS)	<b>32</b>
	7.1.3 Caracterización de las etapas del crecimiento poblacional de <i>Tetraselmis</i> sp. (TET)	<b>34</b>
	7.1.4 Caracterización de las etapas del crecimiento poblacional de <i>Tetraselmis suecica</i> (TETS)	<b>35</b>
	7.1.5 Caracterización de las etapas del crecimiento poblacional de <i>Tetraselmis gracilis</i> (TETG)	<b>37</b>
	7.1.6 Caracterización de las etapas del crecimiento poblacional de <i>Nannochloropsis</i> sp. (Y-3)	<b>39</b>
	7.1.7 Caracterización de las etapas del crecimiento poblacional de <i>Isochrysis galbana</i> var. <i>tahitiana</i> (ISGT)	<b>40</b>
	7.1.8 Caracterización de las etapas del crecimiento poblacional de <i>Rhodella reticulata</i> (RHOR)	<b>42</b>
	7.2 Tipificación del crecimiento poblacional	<b>43</b>
	7.2.1 Estimadores de los parámetros del crecimiento poblacional	<b>45</b>
	7.3 Examen microscópico de células floculadas	<b>46</b>
	7.4 Examen microscópico de células secadas	<b>48</b>
	7.5 Contenido de sal	<b>50</b>
	7.6 Determinación de sal (Método de combustión)	<b>51</b>
	7.7 Composición bioquímica	<b>52</b>
	7.7.1 Biomasa lavada	<b>52</b>
	7.7.2 Biomasa sin sales	<b>53</b>
	7.8 Perfil de aminoácidos	<b>54</b>
	7.9 Ácidos grasos	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>DISCUSIÓN</b>	<b>59</b>
	8.1 Concentración celular	<b>59</b>
	8.2 Método de cosecha	<b>59</b>
	8.3 Proceso de secado	<b>60</b>
	8.4 Lavado y eliminación de sales	<b>61</b>
	8.5 Composición bioquímica, aminoácidos y ácidos grasos	<b>62</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>66</b>
<b>10</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>68</b>
<b>11</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

No.		Pág.
1	Curva típica de crecimiento (Vonshak & Maske 1982).	3
2	Componentes del calorimétrico: a) Bomba calorimétrica. b) Cubeta calorimétrica. c) Chaqueta metálica. d) Baño de agua. e) Mangueras. f) Recirculador. g) Caja de madera. h) Motor del agitador. i) Tapa de baquelita. j) Agitador. k) Termistor. l) Multímetro digital. m) Resistencia eléctrica. n) Conexiones. o) Unidad de ignición. Tomado de Hernández (2015).	8
3	Consumo de microalgas en la antigüedad: a) Mujeres Kanembu recogiendo <i>Spirulina</i> en los alrededores del lago Chad. b) Aztecas recogiendo algas verdeazules de los lagos del valle de México. Original publicado en <i>Human Nature</i> , marzo de 1978 (Henrikson 1994).	9
4	Inóculos y microfotografías de las microalgas marinas empleadas para la evaluación de su calidad bioquímica y como alimento funcional. <i>Dunaliella</i> sp. (DUN). <i>Dunaliella salina</i> (DUNS). <i>Tetraselmis</i> sp. (TET). <i>Tetraselmis suecica</i> (TETS). <i>Tetraselmis gracilis</i> (TETG). <i>Nannochloropsis</i> sp. (Y-3). <i>Isochrysis galbana</i> var. <i>tahitiana</i> (ISGT). <i>Rhodella reticulata</i> (RHOR).	16
5	Secuencia de actividades del desarrollo experimental.	17
6	Inóculo de las microalgas marinas en cultivo estático (1L) de medio QFF.	18
7	Cultivo estático de microalgas marinas, en garrafones de 20L, con temperatura e iluminación constante (24± 2°C, 1000 lux).	19
8	Proceso de floculación empleando NaOH, para ver el efecto provocado en las células de las microalgas. a) Cultivos preparados para floculación. b) Floculación mediante ajuste de pH. c) Frascos con la biomasa floculada y sedimentada.	19
9	Materia seca procesada de microalgas marinas: a) Biomasa secando b) Biomasa seca, c) Biomasa seca pulverizada.	20
10	Proceso de lavado de la biomasa microalgal para eliminación de sales: a) Adición de formiato de amonio a la biomasa. b) Obtención de la pastilla celular por centrifugación. c) Eliminación de formiato de amonio. d) Biomasa lavada y d) Secado de biomasa.	21
11	Proceso de combustión para determinar la concentración de sales en la biomasa: a) Biomasa microalgal colocada en un crisol. b) Instalación del crisol con muestra en la bomba de combustión. c) Bomba de combustión en el interior del recipiente de cobre. d) Muestra carbonizada.	22
12	Obtención de extractos proteicos de microalgas. a) Hidrólisis alcalina en termobañó. b) Centrifugación de la muestra. c) Extracto proteico. Extracto proteico. Laboratorio de Biotecnología de Microalgas del CIBNOR	23
13	Extracción lipídica de microalgas: a) Preparación de muestras para centrifugación. b) Separación de fases. c) Extracto lipídico. d)	



	Carbonización de muestras. Laboratorio de Biotecnología de Microalgas del CIBNOR.	24
14	Extracción de carbohidratos de microalgas: a) Macerado de la biomasa con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 M. b) Muestras posterior a la hidrólisis ácida. c) Centrifugación (2900 rpm/10 min/10 °C). d) Extracto ácido. Laboratorio de Biotecnología de Microalgas del CIBNOR.	27
15	Crecimiento poblacional de las microalgas marinas, en cultivo estático a nivel de 20 L y condiciones controladas de laboratorio (24±2 °C 1000 lux).	29
16	Tendencia poblacional de la cepa <i>Dunalliella</i> sp. (DUN) en cultivo estático y tipificación de su crecimiento. Modelo sigmoidal línea azul (todos los datos), línea azul discontinua (sin los datos correspondientes a la fase de muerte: días 16 a 26).	31
17	Fases de crecimiento identificadas para la cepa <i>Dunalliella</i> sp. (DUN) en cultivo estático.	31
18	Tendencia poblacional de la cepa <i>Dunalliella salina</i> (DUNS) en cultivo estático y tipificación de su crecimiento. Modelo logístico (todos los datos).	33
19	Fases de crecimiento identificadas para la cepa <i>Dunalliella salina</i> (DUNS) en cultivo estático.	33
20	Tendencia poblacional de la cepa <i>Tetraselmis</i> sp. (TET) en cultivo estático y tipificación de su proliferación. Modelo sigmoidal línea azul (todos los datos), línea azul discontinua (sin dato fuera de tendencia).	34
21	Fases de crecimiento identificadas para <i>Tetraselmis</i> sp. (TET) en cultivo estático.	35
22	Tendencia poblacional de la cepa <i>Tetraselmis suecica</i> (TETS) en cultivo estático y tipificación de su crecimiento. Modelo sigmoidal línea azul (todos los datos), línea azul discontinua (sin datos de la fase de muerte, del día 22 al 26).	36
23	Fases de crecimiento identificadas para la cepa <i>Tetraselmis suecica</i> (TETS) en cultivo estático.	36
24	Tendencia poblacional de la cepa <i>Tetraselmis gracilis</i> (TETG) en cultivo estático y tipificación de su crecimiento. Modelo sigmoidal línea azul (todos los datos), línea azul discontinua (sin dato fuera de tendencia).	38
25	Fases de crecimiento identificadas para la cepa <i>Tetraselmis gracilis</i> (TETG) en cultivo estático.	38
26	Tendencia poblacional de la cepa <i>Nannochloropsis</i> sp. (Y-3) en cultivo estático y tipificación de su crecimiento. Modelo logístico (todos los datos).	39
27	Fases de crecimiento identificadas para la cepa <i>Nannochloropsis</i> sp. (Y-3) en cultivo estático.	40
28	Tendencia poblacional de la cepa <i>Isochrysis galbana</i> var <i>tahitiana</i> (ISGT) en cultivo estático y tipificación de su proliferación . Modelo sigmoidal línea azul (todos los datos), línea azul discontinua (sin datos de la fase de muerte).	41

<b>29</b>	Fases de crecimiento identificadas para la cepa <i>Isochrysis galbana</i> var <i>tahitiana</i> (ISGT) en cultivo estático.	<b>41</b>
<b>30</b>	Tendencia poblacional de la cepa <i>Rhodella reticulata</i> (RHOR) en cultivo estático y tipificación de su crecimiento. Modelo logístico línea verde (todos los datos).	<b>42</b>
<b>31</b>	Fases de crecimiento identificadas para la cepa <i>Rhodella reticulata</i> (RHOR) en cultivo estático.	<b>43</b>
<b>32</b>	Observación microscópico de células (100x): a) <i>Dunaliella</i> sp. (DUN). b) <i>Dunaliella salina</i> (DUNS). c) <i>Tetraselmis</i> sp. (TET). d) <i>Tetraselmis suecica</i> (TETS). e) <i>Tetraselmis gracilis</i> (TETG). f) <i>Nannochloropsis</i> sp. (Y-3). g) <i>Isochrysis galbana</i> var. <i>tahitiana</i> (ISGT). h) <i>Rhodella reticulata</i> (RHOR). Floculadas con NaOH. Flechas rojas (células totalmente destruidas). Flechas blancas (membrana o pared celular dañada). Flecha amarilla (componentes celulares despredidos). Flecha naraja (pared o membrana celular vacío) y círculo (cloroplasto celular deformado o dañado).	<b>47</b>
<b>33</b>	Evaluación microscópica de células (100X): a) <i>Dunaliella</i> sp. (DUN). b) <i>Dunaliella salina</i> , (DUNS). c) <i>Tetraselmis</i> sp. (TET). d) <i>Tetraselmis suecica</i> , (TETS). e) <i>Tetraselmis gracilis</i> , (TETG). f) <i>Nannochloropsis</i> sp. (Y-3). g) <i>Isochrysis galbana</i> var. <i>tahitiana</i> , (ISGT). h) <i>Rhodella reticulata</i> , (RHOR), floculadas y secadas en horno a 60 °C. Flechas rojas (células totalmente destruidas). Flecha blanca (membrana o pared celular dañada). Flecha amarilla (componentes celulares despredidos). Flecha naraja (pared o membrana celular vacío) y círculo (cloroplasto celular deformado o dañado).	<b>49</b>
<b>34</b>	Comparación del porcentaje de sales entre la biomasa lavada y no lavada, entre las diferentes cepas analizadas, determinada mediante el método de combustión.	<b>51</b>
<b>35</b>	Composición bioquímica de la biomasa lavada de las cepas analizadas. <i>Dunalliella</i> sp. (DUN), <i>Dunalliella salina</i> (DUNS), <i>Tetraselmis suecica</i> (TETS), <i>Tetraselmis</i> sp. (TET), <i>Tetraselmis gracilis</i> (TETG), <i>Nannochloropsis</i> sp. (Y-3), <i>Isochrysis galbana</i> var. <i>tahitiana</i> (ISGT) y <i>Rhodella reticulata</i> (RHOR).	<b>53</b>
<b>36</b>	Composición bioquímica de la biomasa sin sales de las cepas analizadas de <i>Dunalliella</i> sp. (DUN), <i>Dunalliella salina</i> (DUNS), <i>Tetraselmis suecica</i> (TETS), <i>Tetraselmis</i> sp. (TET), <i>Tetraselmis gracilis</i> (TETG), <i>Nannochloropsis</i> sp. (Y-3), <i>Isochrysis galbana</i> var. <i>tahitiana</i> (ISGT) y <i>Rhodella reticulata</i> (RHOR).	<b>54</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

No.		Pág.
<b>I.</b>	Valores por duplicado de la tasa de crecimiento ( $\mu$ ) y tiempo de generación ( $T_g$ ), obtenidos en la fase exponencial para cada cepa.	<b>30</b>
<b>II.</b>	Valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) antes y después de cada ajuste, el valor de $P$ obtenido del ANDeVA; así como los valores de	<b>44</b>

los coeficientes para cada parámetro estimado ( $\alpha$ ,  $t_0$ ,  $\beta$ ) y su respectivo valor  $P$ .

<b>III.</b>	Porcentaje de sales eliminadas en biomasa lavada calculada mediante diferencia de pesos (%).	<b>50</b>
<b>IV.</b>	Aminoácidos no esenciales, presentes en la biomasa microalgal (mg AA/g muestra).	<b>55</b>
<b>V.</b>	Aminoácidos esenciales presentes en la biomasa microalgal (mg AA/g muestra).	<b>55</b>
<b>VI</b>	Contenido de ácidos grasos presentes en la biomasa procesada de las microalgas marinas, expresado en porcentaje (%).	<b>56</b>
<b>VII.</b>	Comparación entre la concentración celular, parámetros poblacionales, composición bioquímica proximal, aminoácidos y ácidos grasos poliinsaturados $\omega 3$ y $\omega 6$ de las cepas de estudio.	<b>58</b>

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

### Instituciones y Laboratorios

<b>CIBNOR</b>	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
<b>LBM</b>	Laboratorio de Biotecnología de Microalgas
<b>UMAR</b>	Universidad del Mar, campus Puerto Ángel

### Símbolos

DUN	<i>Dunaliella</i> sp.
DUNS	<i>Dunaliella salina</i>
ISGT	<i>Isochrysis galbana</i> var. <i>tahitiana</i>
FMT	Siglas en inglés del reactivo de Folin-Ciocalteu
RIQ	Rango intercuartil
RHOR	<i>Rhodella reticulata</i>
TET	<i>Tetraselmis</i> sp.
TETG	<i>Tetraselmis gracilis</i>
TETS	<i>Tetraselmis suecica</i>
var.	variedad
Y-3	<i>Nannochloropsis</i> sp.
$r^2$	Coefficiente de determinación
$P$	Nivel de significancia
$\mu$	Velocidad específica de crecimiento o tasa de crecimiento
$T_g$	Tiempo de duplicación y/o generación
PUFAs	Ácidos grasos poliinsaturados
LA	Ácido linoleico (C18:2 $\omega 6$ )
ALA	Ácido $\alpha$ -linolénico (C18:3 $\omega 3$ )
ARA	Ácido araquidónico (C20:4 $\omega 6$ )
EPA	Ácido eicosapentaenoico (C20:5 $\omega 3$ )
DHA	Ácido docosahexaenoico (C22:6 $\omega 3$ )

FSC	Fluido supercrítico
% p/p	Indica el peso del soluto, por cada 100 unidades de peso de la solución. (peso del soluto / peso de la disolución) 100
% v/v	Indica el volumen de soluto por cada 100 unidades de volumen de la solución. (gramos de soluto/mL de la solución) 100

## GLOSARIO

**Absorbancia:** conocida como absorbencia, en espectrofotometría es definida como

$$A_{\lambda} = -\log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

**Donde:**

$I$  : intensidad de luz con una longitud de onda específica  $\lambda$  tras haber atravesado una muestra (intensidad de la luz transmitida).

$I_0$  : intensidad de luz antes de entrar a la muestra (intensidad de luz incidente).

**Ácidos grasos:** ácidos carboxílicos, cuyo grupo funcional (-COOH) está unido a una larga cadena hidrocarbonada normalmente no ramificada.

**Alimento funcional:** aquellos que proporcionan un efecto beneficioso para la salud, además de sus contenidos de nutrición básica.

**Aminoácidos:** unidades básicas que forman las proteínas, con un grupo amino (-NH<sub>2</sub>) y un grupo carboxilo (-COOH).

**Sincrónico:** cuando la concentración celular (No. cel·mL<sup>-1</sup>) entre las réplicas, es parecida, y existe poca variabilidad entre ellas.

**Asincrónico:** cuando la concentración celular (No. cel·mL<sup>-1</sup>) entre las réplicas difieren, se observa gran variabilidad y dispersión entre ellas.

**Calorimetría de combustión:** es una técnica empleada para determinar la energía en forma de calor que acompaña una reacción química en la cual el esqueleto de carbono de una sustancia se rompe completamente al quemar el compuesto en presencia de un exceso de oxígeno.

**Carbohidratos:** compuestos orgánicos constituidos por carbón, hidrógeno, y oxígeno, su fórmula general más sencilla es C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>O<sub>n</sub>. Varían desde azúcares simples que contienen de tres a siete átomos de carbono, hasta polímeros muy complejos.

**Lípidos:** sustancias de origen biológico que contienen hidrocarburos alifáticos de cadenas y sus derivados, tales como ácidos grasos, alcoholes, aminoalcoholes, triacilgliceroles, fosfolípidos, etc.

**Floculación:** proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

**Fluidos supercríticos:** es cualquier sustancia que se encuentre en condiciones de presión y temperatura superiores a su punto crítico que se comporta como “un híbrido entre un líquido y un gas”, es decir, puede difundir como un gas (efusión), y disolver sustancias como un líquido (disolvente).

**Microalga:** organismo unicelular eucarionte fotosintético capaz de transformar la energía luminosa en energía química con una eficiencia cuatro veces superior a la de las plantas.

**Proteína:** cualquier tipo de polímero de alto peso molecular compuesto por una gran variedad de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos.

**Rango intercuartílico (RIQ):** en estadística descriptiva se le llama así a la diferencia entre el tercer ( $Q_3$ ) y el primer cuartil ( $Q_1$ ) de una distribución.