

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Nombre del Proyecto:
 Efecto térmico del proceso de secado convectivo sobre la
 composición de ácidos grasos en la fracción lipídica de la biomasa
 microalgal

Nombre del Alumno:
 Dayana Martinez Pastrana

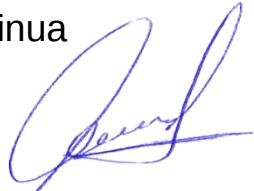
Numero de Control:
 17990427

Nombre de la Carrera:
 Ingeniería en Industrias Alimentarias

Especialidad:
 Sistemas de calidad y mejora continua


José Bernardo Hernández Bernal
 Nombre del Asesor Interno




Luis Alfredo Clemente Ortega
 Nombre Asesor Externo



Boca del Río, Veracruz a 14 de Enero del 2022

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

AGRADECIMIENTOS

Al concluir esta etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que caminaron junto a mí en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza.

Primero doy gracias a Dios por darme la sabiduría y fuerza para culminar esta etapa académica.

A toda mi familia, en especial a mis padres y a mi hermano, por creer en mí y por ayudarme a cumplir esta meta tan anhelada, son la mayor motivación en mi vida.

A mis asesores, al Dr. Luis Alfredo Clemente Ortega y al M.C. José Bernardo Hernández Bernal, por sus valiosas y constructivas sugerencias durante la planificación y desarrollo de este trabajo de investigación.

A todos mis maestros, que formaron parte de mi enseñanza durante mi carrera universitaria y que me brindaron todos sus conocimientos en mi formación profesional.

A todos, muchas gracias.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

DEDICATORIA

A mis padres Alfredo y Marcela, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, porque todo lo que soy se lo debo a ellos, por inculcar en mi la importancia de estudiar y por ser ellos la inspiración para finalizar este proyecto.

A mi hermano Jesús por su motivación y apoyo incondicional en todo momento.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se revisaron procedimientos básicos tal como la preparación del medio (MBB) así como del equipo para los procesos.

Se llevó el conteo celular (Neubauer), y se apoyó así el escalamiento preciso a los volúmenes de fotobiorreactores y la cinética poblacional microalgal se formó con el conteo diario.

Se hizo la observación documental y en laboratorio de factores de crecimiento que pudieran afectar de manera positiva a los cultivos microalgales, tales como intensidad de iluminación, volumen de aireación y temperatura de cultivo, así como los nutrientes adecuados para el cultivo. Se tomaron muestras de ambas especies microalgales en la etapa crítica de escalamiento y en las dos fases de cinética, así como para una de las especies, para obtener datos de densidad celular, biomasa microalgal, producción y productividad lipídicas por especie/fase de desarrollo, esto se definió por medio de técnicas como peso constante, centrifugación, filtración y secado de biomasa. De donde se observó que los resultados son pertinentes con la investigación bibliográfica.

Como una fase final, se realizaron una extracción soxhlet con cloroformo metanol, y una derivatización lipídica, (Soxhlet; Le Page y Roy), para tener una muestra lipídica fraccionada y lista para la cromatografía de gas.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Nannochloropsis oculata presenta la mayor densidad celular en fase exponencial (42.62×10^6 cel mL⁻¹). *Chlorella vulgaris* presenta mayor producción y productividad de biomasa en fase exponencial (0.8169 g L⁻¹ y 0.0743 g L⁻¹ d⁻¹). Ambas cepas presentan mayor % de lípidos en fase estacionaria (36.89 y 30.41 %), siendo *Chlorella vulgaris* el de mayor %. No se observan diferencias significativas en la producción y productividad de lípidos entre cepas. El mayor % de ácidos grasos se presenta en fase estacionaria (60.90 %), los principales ácidos grasos identificados son: Ácido butírico, Ácido caproico, Ácido cis-10 pentadecanoico, Ácido palmítico, Ácido elaídico, Ácido oleico, Ácido linoleaídico y Ácido araquidónico.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA U ORGANIZACIÓN Y DEL PUESTO O ÁREA DEL TRABAJO DEL ESTUDIANTE	7
2.1. Historia.....	8
2.2. Instalaciones y Servicios	9
2.3. Filosofía Institucional.....	10
2.3.1. Misión.....	10
2.3.2. Visión.....	10
2.3.3. Valores	11
2.4. Política de Calidad	12
2.5. Política del Tecnológico Nacional de México.....	12
2.6. Código de Ética y Conducta del TecNM.....	13
2.7. Datos generales (ITBOCA).....	15
3. PROBLEMAS A RESOLVER	16
4. OBJETIVOS.....	18
4.1. General.....	18
4.2. Específicos	18
5. JUSTIFICACIÓN	19
6. MARCO TEÓRICO	21
6.1. Microalgas.....	21
6.1.1. Características	21
6.1.2. Crecimiento	22

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

6.1.3. Condiciones de cultivo.....	22
6.2. <i>Chlorella vulgaris</i>	23
6.3. <i>Nannochloropsis oculata</i>	27
6.4. Cultivo de microalgas	28
6.5. Microalgas de uso alimentario.....	30
6.6. Ácidos grasos presentes en las microalgas.....	32
6.7. Ácidos omegas 3, 6 y 9.....	36
6.8. Secado.....	38
6.9. Secado convectivo.....	40
6.10. Secado convectivo de biomasa microalgal	42
7. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	43
7.1. Implementación de las condiciones de cultivo de las microalgas <i>Nannochloropsis oculata</i> y <i>Chlorella vulgaris</i>	43
7.2. Crecimiento celular.....	44
7.3. Determinación de biomasa del cultivo de <i>Nannochloropsis oculata</i> y <i>Chlorella vulgaris</i>	45
7.4. Extracción lipídica por método Soxhlet.....	47
7.5. Derivatización de ácidos grasos.....	49
7.6. Identificación y cuantificación de FAMES por el método cromatográfico...	50
7.7. Metodología de Secado Microalgal	50
7.7.1. Secado por convección.....	50
8. RESULTADOS	52
9. CONCLUSIONES	61
10. RECOMENDACIONES	63
11. EXPERIENCIA PERSONAL PROFESIONAL ADQUIRIDA.....	64
12. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS	65
13. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	67
14. ANEXOS.....	72

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ácidos grasos poliinsaturados presentes en microalgas.	4
Ilustración 2. a) Laboratorio de Biotecnología de Microalgas y Bioenergías y b) Laboratorio de Investigación en Biotecnología Acuícola (LIBA).	7
Ilustración 3. Chlorella vulgaris.	26
Ilustración 4. Nannochloropsis oculata.....	28
Ilustración 5. Esquema de secado por convección.	41
Ilustración 6. Cámara de Neubauer.	44
Ilustración 7. Microscopio óptico marca ZEISS Axiostar (1122- 100), empleado para el conteo celular.....	44
Ilustración 8. Equipo para determinación de biomasa microalgal.	46
Ilustración 9. Extracción de lípidos por método Soxhlet.	48
Ilustración 10. Secador de horno convectivo.....	51
Ilustración 11. Cinéticas de crecimiento reales en el Laboratorio de Biotecnología de Microalgas y Bioenergías.....	53

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del alga Chlorophyta y el tipo de compuesto de almacenamiento.	25
Tabla 2. Composición de ácidos grasos para Chlorella vulgaris.....	26
Tabla 3. Microalgas potenciales como fuente primaria de PUFAs.	34
Tabla 4. Comparación de resultados de cinética de crecimiento de Nannochloropsis oculata y Chlorella vulgaris con investigaciones externas.	54
Tabla 5. Variables de respuesta de producción y productividad del crecimiento Microalgal.....	57
Tabla 6. Comparación de las variables de respuesta con lo reportado en otras investigaciones.	58
Tabla 7. Perfil de ácidos grasos	60

	SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

1. INTRODUCCIÓN

Las microalgas son organismos autótrofos unicelulares, coloniales y filamentosos que habitan diversos ambientes acuáticos en todas las latitudes y ecosistemas del planeta. Son fuentes de biomoléculas y metabolitos de gran importancia económica y constituyen una fuente directa de alimento. Representan un sistema muy eficiente para la bioconversión de la energía luminosa, aunado a la utilización de los elementos nutritivos (nitrógeno, potasio y fósforo), el aporte de oxígeno y una producción de biomasa que puede ser utilizable en diferentes áreas en la industria. Estas han adquirido gran importancia en los últimos años ya que presentan la solución a diversos problemas en aspectos de alimentación, producción de biomasa y metabolitos de alto valor agregado de origen natural (Gómez *et al.*, 2013). Estas se presentan como una fuente potencial de compuestos bioactivos para ser utilizado en la industria alimentaria generando alimentos funcionales. Un alimento funcional está constituido por elementos que además de proporcionar nutrientes, tienen un beneficio para una o más funciones del organismo humano, mejorando el estado de salud y reduciendo el riesgo a la enfermedad (López *et al.*, 2015).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Muchos de los compuestos metabólicos de microalgas, así como su biomasa tienen un efecto beneficioso, y pueden ser incorporados en alimentos (López *et al.*, 2015). El desarrollo y búsqueda de alimentos funcionales, como método para mejorar y mantener la salud representa un campo de la investigación muy explorado en años recientes. Lípidos, proteínas, polisacáridos, compuestos fenólicos, carotenoides, entre otros bioproductos proveniente de microalgas pueden ser utilizados como fuente de ingredientes para productos funcionales (López *et al.*, 2015).

A su vez, representan una fuente en exploración de compuestos bioactivos que podrían ser útiles en aplicaciones farmacéuticas o nutraceuticas; así aparecen sustancias con efecto antimicrobiano, anti-inflamatorio, antialérgico, antioxidante, hipocolesterolémico, hipoglicemiante, inmunosupresor, antiagregante y vasoconstrictor, entre otros. La presencia de alimentos con actividad nutraceutica, producto de la adición de compuestos bioactivos, viene a ser un avance para el desarrollo de la alimentación. De esta forma, el suministro de estos alimentos, además de contribuir en la cadena nutritiva, aportaría elementos que beneficiarían la salud humana (López *et al.*, 2015).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Algunas de las moléculas obtenidas a partir del proceso fotosintético de la mayoría de las microalgas, dentro de la fracción lipídica, son los ácidos grasos poliinsaturados, que bajo ciertas condiciones de estrés metabólico (variación, lumínica, salinidad, se pueden acumular en la célula microalgal en un porcentaje importante (a veces más del 30% de su peso celular en seco), (De Carvalho *et al.*, 2020; Kirrolia *et al.*, 2013). Estos compuestos secundarios y en especial los de las microalgas oleaginosas son hidrocarburos, más específicamente ácidos carboxílicos alifáticos de cadena larga, y en el caso de los ácidos poliinsaturados, superior a 18 átomos de carbono, biológicamente relevantes de ellos son el ácido araquidónico ARA (C_{20:4}) $\Delta^{5,8,11,14}$, y el ácido eicosapentaenóico EPA (C_{20:5}) $\Delta^{3,6,9,12,15}$. Este grupo de compuestos por sus propiedades intrínsecas son precursores de glicerol, fosfoglicerol, enzimas como las lipasas, esfingolípidos, hormonas esteroideas, y lípidos estructurales (Bohinski, 1994). Los ácidos grasos poliinsaturados son considerados ácidos grasos esenciales, puesto que se necesita para el desarrollo básico del cuerpo, pero nuestro organismo no cuenta con las enzimas necesarias para sintetizarlos, estos se encuentran principalmente en los alimentos de origen marino como algas, moluscos, crustáceos y peces grasos de aguas profundas; en la actualidad, el pescado y el aceite de pescado son las principales fuentes de ácidos grasos poliinsaturados, la aplicación como aditivo alimentario es limitada debido a la

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

posible acumulación de toxinas, olor a pescado, sabor desagradable y la presencia de ácidos grasos mezclados, no adecuados en las dietas vegetarianas; debido a ello se han estudiado los efectos de su incorporación al suplementarlos dentro de una dieta animal y humana, observándose múltiples efectos benéficos mencionados anteriormente, tales como efecto antioxidante, anticancerígeno, antiinflamatorio, etc. (Zanella & Vianello, 2020; Katiyar & Bishnoi, 2013). Debido a esta gran importancia biológica y clínica ha impulsado desde hace décadas la investigación para obtener a los AGPI de manera directa, para su utilización en estas áreas, en especial en el campo de la alimentación.

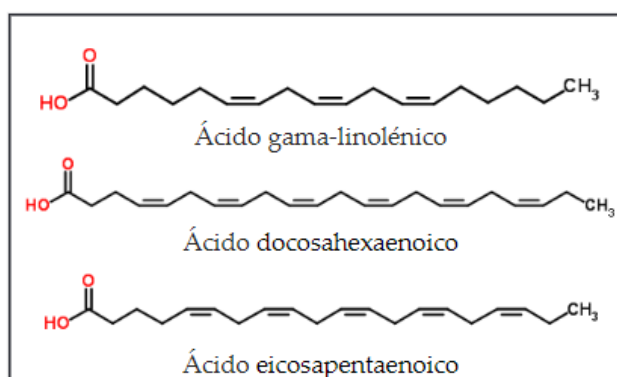


Ilustración 1. Ácidos grasos poliinsaturados presentes en microalgas ([://www.chemspider.com/](http://www.chemspider.com/)).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

El secado convectivo con aire caliente es uno de los métodos industriales más comunes que se utilizan para el secado de material orgánico (Babalís & Belessiotis, 2004), además de que también permite obtener otras formas diferentes a los polvos (Desmorieux & Decaen, 2005). Uno de los parámetros más importantes dentro del secado de forma puntual, es la temperatura, esta debe generar el retiro de la humedad en la biomasa de forma eficiente y en el menor tiempo posible, a su vez, el calor aplicado, debe manejarse dentro de los límites de un rango de temperatura que no altere o afecte las propiedades útiles del producto adquirido, debido a que, si se sobrepasan los parámetros de resistencia térmica, existirán inconvenientes derivados de fenómenos como oxidación, desnaturalización, etc.; los cuales alteran la calidad de un producto esperado. En los ácidos grasos poliinsaturados, por insaturación, reaccionan e interactúan dentro del metabolismo, si no se sobrepasa el umbral térmico, el principal efecto será la oxidación y saturación de la cadena hidrocarbonada de los ácidos grasos, con lo cual se perderá el valor de sinergia biológica, factor importante en los procesos biológicos. Por ello, el secado de biomasa microalgal debe preservar el material biológico obtenido para la extracción de la fracción lipídica, dado que la actividad de agua del producto fresco acelera su fermentación, proceso indeseable.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

En este trabajo, será en primer término evaluados los procesos de cultivo de dos especies microalgales: *Nannochloropsis oculata* y *Chlorella vulgaris*, bajo los parámetros más eficientes, para así obtener una biomasa microalgal con un contenido de ácidos grasos adecuado, además el estudio del efecto del secado convectivo en el contenido de lípidos de la biomasa microalgal de *Nannochloropsis oculata* y *Chlorella vulgaris*, así como la proporción porcentual de los ácidos grasos poliinsaturados identificados.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA U ORGANIZACIÓN Y DEL PUESTO O ÁREA DEL TRABAJO DEL ESTUDIANTE

El presente proyecto se desarrollará en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA) en el Laboratorio de Biotecnología de Microalgas y Bioenergías, donde se realizará el cultivo de las microalgas *Nannochloropsis oculata* y *Chlorella vulgaris*, para establecer las condiciones de obtención de biomasa. De igual manera la estandarización del método para la identificación y cuantificación de FAMES por cromatografía de gases se realizará en el Laboratorio de Investigación en Biotecnología Acuícola (LIBA), dentro de las instalaciones del ITBOCA (Ilustración 2).



a)



b)

Ilustración 2. a) Laboratorio de Biotecnología de Microalgas y Bioenergías y b) Laboratorio de Investigación en Biotecnología Acuícola (LIBA).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

2.1. Historia

La educación en Ciencia y Tecnología del Mar tuvo su origen a nivel nacional en el año de 1957, en la ciudad de Veracruz en el seno de una prestigiada institución educativa, que hoy es el Instituto Tecnológico de Veracruz.

La creación del Instituto Tecnológico del Mar es el resultado de la evaluación de dos etapas previas para consolidarse:

Primero, la creación de la Estación Marina, que funcionó como el origen (de 1957 a 1965), con su adscripción al Instituto Tecnológico Regional de Veracruz. Segundo, su transformación para convertirse en el Centro Nacional de Ciencias y Tecnologías Marinas (de 1966 hasta 1974).

A partir de septiembre de 1975, la institución por Acuerdo Presidencial, se transformó en el Instituto Tecnológico de Pesca, cuyo nombre cambió a Instituto de Estudios Superiores en Ciencia y tecnología del Mar, y en 1981 finalmente se designó como Instituto Tecnológico del Mar; con la reestructuración de la SEP, como parte del proceso integrador en octubre del 2005 nuestro plantel posee una nueva imagen institucional, tomando su nuevo nombre de INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO, siendo parte del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica, el cual posteriormente cambia a Tecnológico Nacional de México.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Su creación se justificó con base en que nuestro país esta bordeado por dos grandes océanos mundiales: el Pacífico y el Atlántico, además cuenta con un extenso litoral de 11,593 Km. de longitud y posee una zona económica exclusiva (INEGI, 1995), cuya superficie es de 2,717,252 Km² Propin (1998), que ocupa el 9º lugar en extensión a nivel mundial.

2.2. Instalaciones y Servicios

El Instituto Tecnológico de Boca del Río es una distinguida comunidad, de enseñanza y aprendizaje, con una trayectoria de más de 40 años, preparando jóvenes profesionistas que se incorporan al sector privado y público.

Actualmente cuenta con planes de estudio basados en competencias profesionales, y con reconocimiento con la Norma ISO 9001:2008.

El principal propósito es ofrecer oportunidades y herramientas para que todos los jóvenes desarrollen al máximo su potencial de acuerdo con su conocimiento, sus intereses y capacidades.

Los catedráticos, equipo directivo y personal de apoyo cuentan con la preparación y experiencia, para lograr que cada alumno, crezca en un entorno grato, seguro e idóneo para su desarrollo integral.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Las instalaciones y el equipamiento educativo fueron diseñados para ser un espacio educativo amplio, con diversidad de ambientes y recursos para el aprendizaje, la recreación, el fomento a la lectura y la investigación, la práctica deportiva y el aprendizaje por competencias, así como el goce de las diferentes expresiones artísticas.

2.3. Filosofía Institucional

2.3.1. Misión

Contribuir a la conformación de una sociedad más justa, humana y con amplia cultura científico-tecnológica, mediante una educación equitativa en su cobertura y de alta calidad.

2.3.2. Visión

Ser un Instituto Tecnológico de alto desempeño que sea soporte del desarrollo acuícola e industrial sostenido, sustentable y equitativo de la región, de la nación y del fortalecimiento de su diversidad cultural.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	<i>Proyecto de Residencias Profesionales</i>	

2.3.3. Valores

A fin de guiar y orientar las acciones cotidianas de todo su personal, el Instituto Tecnológico de Boca del Río define los siguientes valores Institucionales:

- **Respeto:** Miramiento, consideración, deferencia.
- **Puntualidad:** Disciplina de estar a tiempo para cumplir nuestras obligaciones.
- **Honestidad:** Cualidad humana por la que la persona se determina a elegir actuar siempre con base en la verdad y en la auténtica justicia, dando a cada quien lo que le corresponde, incluida ella misma.
- **Tolerancia:** Respeto a las ideas, creencias o prácticas de los demás cuando son diferentes o contrarias a las propias.
- **Responsabilidad:** Es una obligación, ya sea moral o incluso legal de cumplir con lo que se ha comprometido.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

2.4. Política de Calidad

En el Instituto Tecnológico de Boca del Río nos comprometemos a proporcionar permanentemente enseñanza que satisfaga los requisitos legales y reglamentarios pertinentes de las partes interesadas definidos mediante el contexto interno, y externo: logrando el aumento de su satisfacción, a través de la aplicación eficaz del sistema de gestión, mejorando continuamente, apoyando al logro de la planeación estratégica de la institución.

2.5. Política del Tecnológico Nacional de México

El TecNM establece el compromiso de implementar y orientar todos sus procesos estratégicos y actividades del proceso educativo, hacia la Calidad del Servicio Educativo y respeto del medio ambiente, dando cumplimiento a los requisitos del estudiante y partes interesadas, legislación ambiental aplicable y otros requisitos ambientales que se suscriban así como promover en su personal, estudiantes y partes interesadas la prevención de la contaminación y el uso racional de los recursos; mediante la implementación, operación y mejora continua de un Sistema de Gestión de Calidad conforme a la Norma ISO 9001:2015/NMX-CC-9001-IMNC-2015 y un Sistema de Gestión Ambiental conforme a la Norma ISO

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

14001:2015/NMX-SAA-IMNC-14001-2015, coadyuvando a la conformación de una sociedad justa y humana con una perspectiva de sustentabilidad y ser uno de los pilares fundamentales del desarrollo sostenido y sustentable.

2.6. Código de Ética y Conducta del TecNM

El Tecnológico Nacional de México (TecNM) es una dependencia educativa con reconocimiento a nivel nacional e internacional, donde se educan a los profesionistas y posgraduados que la sociedad requiere para el desarrollo del país. Todo el personal que colabora dentro del TecNM tiene el firme compromiso con la sociedad de ofrecer una educación de excelencia en forma gratuita.

El TecNM establece el compromiso de que el personal desempeña su trabajo con base en los valores y principios éticos contenidos en el Código de ética y de Conducta que garantizan el orden, la seguridad, la igualdad y no discriminación establecida en la NMXR-025-SCFI-2015 y en el Programa Institucional de Innovación y Desarrollo 2013 – 2018 (PIID), en su estrategia transversal III.1, estrategia 3 de igualdad de oportunidades y no discriminación contra las mujeres.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Con este Código de Ética se espera que la comunidad tecnológica realice sus funciones dentro de los valores éticos, necesarios para una convivencia con nuestros semejantes que garantice el orden, la seguridad, la igualdad y no discriminación establecido en la NMX-R-025-SCFI-2015 y en el Programa Institucional de Innovación y Desarrollo 2013 – 2018 (PIID), en su estrategia transversal III.1, estrategia 3 de igualdad de oportunidades y no discriminación contra las mujeres, para lograr un progreso verdadero de nuestra nación.

De conformidad con el ACUERDO que tiene por objeto emitir el Código de Ética de los servidores públicos del Gobierno Federal, las Reglas de Integridad para el ejercicio de la función pública, y los Lineamientos generales para propiciar la integridad de los servidores públicos y para implementar acciones permanentes que favorezcan su comportamiento ético, a través de los Comités de Ética y de Prevención de Conflictos de Interés, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de agosto de 2015; el presente Código tiene por objeto establecer las normas que regirán la conducta de los servidores públicos federales que integran al Tecnológico Nacional de México.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Asimismo, este Código constituye una guía para apoyar al personal docente y no docente de los Institutos, Centros y Unidades que integran al Tecnológico Nacional de México, conforme el artículo 1º de su Decreto de creación, a efecto de que cumplan con las normas de ética que establece el TecNM, sintetizando algunas normas por las cuales las dependencias que integran el TecNM y todos los integrantes deberán regirse; por lo que no es un documento que cubre cada situación que pudieran enfrentar el personal de la Institución, sino que es una guía que resalta algunos aspectos que ayudará a la toma decisiones.

2.7. Datos generales (ITBOCA)

Ciudad: Veracruz

Estado: Boca del Río

Dirección: Carretera Veracruz-Córdoba Km.12 C.P. 94290. Boca del Río, Ver.

Correo: contacto@bdelrio.tecnm.mx

Teléfono: (229) 6905010

Página web:

Instituto Tecnológico de Boca del Río – TecNM- <https://bdelrio.tecnm.mx>

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

3. PROBLEMAS A RESOLVER

Existen varios factores del secado que pueden influir en el material, por ejemplo: la velocidad, la temperatura del aire, la difusión del agua a través del material, el espesor y la forma del producto. Los factores más importantes en las condiciones de secado de microalgas son la temperatura y el espesor (Desmorieux & Decaen, 2005; Oliveira, et al., 2009). Dentro de las investigaciones realizadas en relación al secado, algunos autores han reportado la pérdida de componentes durante el proceso. En estudios recientes (Hélène Desmorieux & Hernández, 2004; Oliveira et al., 2010) se ha demostrado la pérdida de proteínas, azúcares, pigmentos como las ficocianinas y en especial la pérdida de lípidos durante el proceso de secado convectivo de microalgas.

De acuerdo con lo anterior se pretende resolver los siguientes:

- La pérdida de lípidos durante el secado convectivo en la biomasa de microalgas *Chlorella vulgaris* y *Nannochloropsis oculata*.
- Los factores que ejercen mayor influencia en la pérdida de lípidos durante el secado convectivo de biomasa de microalgas.
- El efecto de las condiciones de secado convectivo en el perfil lipídico de *Chlorella vulgaris* y *Nannochloropsis oculata*.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

- Qué tipo de lípidos se encuentran en *Chlorella vulgaris* y *Nannochloropsis oculata* después del secado.
- El cultivo de *Chlorella vulgaris* y *Nannochloropsis oculata* con énfasis en producción de lípidos.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

4. OBJETIVOS

4.1. General

- Evaluar el efecto del secado convectivo sobre el perfil de ácido grasos de la fracción grasa de biomasa microalgal.

4.2. Específicos

- Evaluar el crecimiento microalgal en medio de cultivo específico.
- Determinar la producción y productividad de biomasa y lípidos en las microalgas *Chorella vulgaris* y *Nannchloropsis oculata*.
- Evaluar el efecto de la temperatura del secado convectivo de la biomasa microalgal, sobre la composición de ácidos grasos.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

5. JUSTIFICACIÓN

Las microalgas son fuente, entre otros metabolitos, de ácidos grasos poliinsaturados (omegas 3 y 6), los cuales son compuestos importantes, útiles y promisorios, ya que se utilizan en la industria acuícola, alimenticia, química y terapéutica, esto debido a su acción biológica beneficiosa para mejorar o corregir ciertos procesos metabólicos en los seres vivos, por ejemplo, óptimo desarrollo celular temprano, regulación de procesos hormonales, optimización de la capacidad reproductiva, potencial antioxidante, mejoramiento de la capacidad autoinmune, estabilización del sistema nervioso y sus funciones, etc. Por ello, es necesario contar con cultivos microalgales diseñados para un mayor rendimiento y calidad de producto (ácidos grasos poliinsaturados). Por otra parte, el proceso de secado aplicado a biomasa microalgal (productos biológicos de cultivo acuícola) es aún más fino y complejo que los métodos de separación base húmeda (floculación centrifugación, sedimentación, etc.), ya que la interacción calor, medio de transporte (aire), y el conjunto sólido-líquido deben estar en un equilibrio tal que permita el retiro de la humedad del complejo, sin generar alteraciones indeseables en el componente seco (biomasa).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Adicionalmente, es necesario contar con protocolos para los procesos de conservación de dichos productos, específicamente ácidos grasos poliinsaturados (objetivo inicial de este estudio).

En este trabajo se definen algunas variables intrínsecas, primordialmente: temperatura y velocidad del aire de secado, superficie del propagador térmico, tiempo de secado, porcentaje de humedad inicial y final de la biomasa. El factor energético y el tiempo de obtención del producto final, son retos biotecnológicos para definir la relación costo-beneficio de un proceso de obtención de harina seca microalgal; así como también la caracterización de los ácidos grasos poliinsaturados (omegas 3 y 6) presentes en ella, debido a la acción térmica sobre estos componentes, y su posible modificación bioquímica; esto incide en añadir un valor agregado a un producto (harina de microalgas) con una característica específica de contenido de ácidos grasos de la mayor cantidad y calidad posible.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Microalgas

6.1.1. Características

Las microalgas son un grupo de microorganismos fotosintéticos unicelulares procariontes (cianobacterias) y eucariontes. Se encuentran distribuidas principalmente en el agua, pero también en la superficie de todo tipo de suelos, (Taher et al., 2014) tolerando un amplio rango de temperaturas, pH y disponibilidad de nutrientes. Las microalgas pueden tener ciertos tipos de organización celular: unicelular, colonial y filamentosa. Aunque viven de manera libre, cierto número de microalgas vive en asociación simbiótica con otros organismos (Richmond & Hu, 2013). Se han identificado alrededor de 40,000 especies, aunque se estima que existen más de 100,000 de las cuales con frecuencia se desconoce su composición bioquímica y metabolismo (Garibay Hernández, Vázquez-Duhalt, Sánchez-Saavedra, Serrano-Carreón, & Martínez-Jiménez, 2009).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

6.1.2. Crecimiento

Para el crecimiento de un alga autótrofa, únicamente son necesarios agua, luz, CO₂, nutrientes y elementos traza. Por medio de la fotosíntesis, el alga será capaz de sintetizar todos los componentes necesarios para su crecimiento. Los parámetros óptimos y rangos tolerables son específicos para cada especie (Barsanti & Gualtieri, 2014).

6.1.3. Condiciones de cultivo

La temperatura de los cultivos debe ser lo más cercana posible a la temperatura de su hábitat natural. Los requerimientos de la intensidad de luz varían con la profundidad y densidad del cultivo algal. Deben evitarse altas intensidades de luz pues podrían resultar en fotoinhibición. También debe evitarse el sobrecalentamiento debido a la iluminación. Muchas especies requieren ciclos de luz/oscuridad (normalmente 12:12) para su crecimiento. El pH también afecta su crecimiento, siendo de 7 a 9 el rango para la mayoría de las especies. El mezclado es necesario para prevenir la sedimentación de las microalgas y asegura que todas las células de la población se encuentren igualmente expuestas a la luz y los nutrientes (Barsanti & Gualtieri, 2014).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

6.2. *Chlorella vulgaris*

La especie que muchos autores denominan como la más versátil, estudiada y adaptable hasta el momento en la investigación micro algal, pertenece al *Phyllum Chlorophyta*, el Orden *Chlorellales*, y la Familia *Chlorellaceae*, fue descrita por primera vez por el holandés Beijerinck en 1890, microalga esférica con un diámetro entre 2 y 10 micrómetros (1×10^{-6} m), cuenta con una gruesa pared de celulosa y es muy resistente a medios contaminados con pesticidas, llegando a absorber y metabolizar a estos compuestos (Mishaqa, 2017). Se encuentra en ecosistemas de agua dulce, salobres y marinos de manera muy amplia a nivel mundial, de acuerdo a Tomaselli, (2007), esta especie puede metabolizar de forma autotrófica, mixotrófica y heterotrófica, lo cual, en términos de usos de diversos medios, variaciones de estrés al cultivo y su altísima capacidad fotosintética y de rápido crecimiento y rendimiento de densidad celular, la convierten en la especie más apropiada para el cultivo microalgal en términos de sencillez y economía (Borowitzka, 2018). Es una de las pocas especies microalgales aprobadas para su consumo integral por la FDA y la EFSA, así mismo ha sido muy estudiada en un enfoque genético y transgénico, (Cha et al. 2012; Cecchin et al. 2019).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

La antigüedad de esta microalga es muy confirmada, pues por su conformación y gran adaptabilidad han generado la hipótesis de que es uno de los microorganismos más antiguos que existen en la actualidad, este género se utiliza de forma muy amplia en Asia, en donde se cultiva con productividades cercanas a 30 g/m²/d, la utilización del género *Chlorella* se especifica desde al alimento encapsulado de forma directa, biomasa fresca y seca para acuacultura, extracción lipídica, proteica, de pigmentos clorofílicos, regeneración de cuerpos de agua, etc.,(Gómez, 2007).

Chlorella Vulgaris es un alga unicelular de color verde, de forma esférica. Su color lo obtiene de los cloroplastos, que son las estructuras encargadas de realizar la fotosíntesis. Pertenece a la división *Chlorophyta* y a la clase de las *Chlorophyceae*, en la Tabla 1 se puede observar la clasificación. Se ha cultivado de forma intensiva con fines de alimentación y obtención de metabolitos. El sistema por lote es el más utilizado a gran escala por su bajo riesgo de contaminación y fácil implementación (Chaparro, 2017).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Tabla 1. Características del alga *Chlorophyta* y el tipo de compuesto de almacenamiento (Chaparro, 2017).

Grupo	Nombre	Morfología	Pigmentos	Representante típico	Material de reserva	Pared celular
<i>Chlorophyta</i>	Algas verdes	Unicelar	Clorofilas a y b	<i>Chlamydomonas</i>	Almidón; (α-1,4-glucano), sacarosa	Celulosa

Sus ciclos de vida y necesidades nutricionales son simples; al ser unicelulares, la energía se dirige a través de la fotosíntesis al crecimiento y la reproducción; es un organismo altamente eficiente en la fijación del CO₂ debido a su habilidad de crecer en medios enriquecidos con altas concentraciones de CO₂, lo cual le da una gran ventaja sobre otras especies del mismo género (Chaparro, 2017).

La composición lipídica para esta especie reportada por Lee, et al. (2010) se muestra en la Tabla 2.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Tabla 2. Composición de ácidos grasos para *Chlorella vulgaris* (J.-Y. Lee et al., 2010).

Categoría	Nombre del ácido graso	% Peso total
Saturado	Heptadecanoico/Margárico (17:0)	0.1
Saturado	Esteárico (18:0)	3.4
Insaturado	Oleico (18:1)	16.3
Insaturado	Linoleico (18:2)	79.4
Insaturado	α -Linolénico (18:3)	0.1

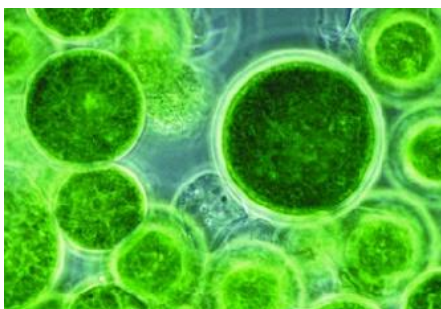


Ilustración 3. *Chlorella vulgaris* (<https://acuisurperu.com/pf/chlorella-vulgaris/>).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

6.3. *Nannochloropsis oculata*

La microalga *Nannochloropsis oculata*, es muy importante en acuicultura debido a su valor nutricional. Esta microalga pertenece a la clase *Eustigmatophyceae*, que agrupa a las especies que contienen la mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), especialmente ácido eicosapentaenoico (EPA), ácido araquidónico (ARA), docosahexaenoico (DHA) de gran importancia en la nutrición de animales marinos, especialmente en el crecimiento y desarrollo de larvas de peces, moluscos y crustáceos. Su cultivo es de origen japonés y su tamaño varía de 2 a 3 μm . Es reconocida por su valor nutricional como una excelente fuente de proteínas, carbohidratos, lípidos y vitaminas. Esta especie contiene cantidades elevadas de ácidos grasos poliinsaturados, especialmente ácido eicosapentaenoico (AEP), ácido araquidónico y ácido docosahexaenoico que son de gran relevancia en la nutrición de animales marinos, especialmente en el crecimiento y desarrollo de larvas de peces, moluscos y crustáceos (Sánchez *et al.*, 2008). Adicionalmente, por su alto contenido de ácido palmítico (C16:0) y palmitoleico (C16:1n-7), es una muy buena fuente para producir biodiésel (Macias *et al.*, 2017).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

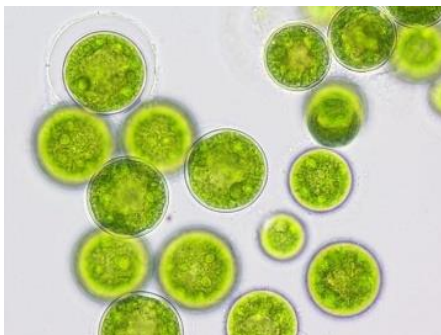


Ilustración 4. *Nannochloropsis oculata* (https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Microalga-da-especie-Nannochloropsis-oculata_fig1_330745636).

6.4. Cultivo de microalgas

Desde tiempos antiguos las microalgas han estado presentes en la actividad humana, ya desde la antigüedad y hasta estos tiempos, los aztecas, tribus africanas cercanas al lago Chad, chinos y japoneses, entre otras culturas, han dispuesto de los florecimientos estacionarios, espontáneos de diversos géneros de Cianobacterias, como *Arthrospira*, *Nostoc*, *Aphanoteca*, *Spirogyra*, *Oedogonium*, estas costumbres alimenticias culturales empíricas son la cuna de la importancia nutricional actual de las microalgas (García et al. 2017).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

El cultivo de microalgas surgió desde la observación de la capacidad de crecimiento exponencial en efluentes naturales, además de eso, ciertas especies (*Chlorella*, *Arthrospira*, etc.), pueden ser cultivadas en condiciones domésticas y con poco o nada de mantenimiento hasta su fase estacionaria. En general, se deben cumplir siete puntos para establecer un cultivo de microalgas eficiente: 1.- Una fuente de luz adecuada, 2.- Procesos operativos simples, 3.- Transferencia de materiales a través de la capa líquido-gas, 4.- Nivel alto de costo-beneficio (instalaciones), 5.- Bajo índice de contaminación del sistema, 6.- Eficiencia de uso del espacio y 7.- Elección de la especie o especies adecuadas. Este último punto es relevante, dado que algunas especies son productoras de compuestos bioactivos de forma más abundante (ej. carotenoides, ácidos grasos, proteínas, etc.). El cultivo microalgal se puede dividir en forma general en dos grandes áreas: a).- cultivo externo en estanques tipo pista de carreras (raceways), y b).- cultivo intensivo en sistemas cerrados y condiciones controladas, llamados fotobiorreactores (FBR), (Tan et al., 2019). Existen una serie de diferencias intrínsecas que hacen elegible un tipo general de cultivo sobre el otro, dado que al trabajar de determinada forma cualquier tipo de cultivo biológico, los resultados son impactados en forma visible (Tan et al., 2019).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

6.5. Microalgas de uso alimentario

Desde hace más de veinte siglos las microalgas son parte de la alimentación humana y en algunos países persiste su uso. Las microalgas sobresalen en la industria de la alimentación porque se han convertido en los nuevos estandartes de una dieta saludable. Hoy existe un sinnúmero de suplementos alimenticios a base de microalgas como *Chlorella* y, principalmente, *Spirulina*, los cuales prometen ayudar a la preservación de la salud o incluso mejorarla (Espinoza, 2017). A pesar de que desde la antigüedad las microalgas representaban una fuente de alimentación rica en proteínas, carbohidratos y grasas, no fue sino hasta 1967 que la Asociación Internacional de Microbiología Aplicada denominó a la *Spirulina* como “una fuente maravillosa de alimento para el futuro”. Esta microalga tiene un elevado contenido de proteínas de alta calidad (contenido balanceado de aminoácidos esenciales), que representan entre 60 y 70% de su peso seco. Después de su redescubrimiento, en la década de 1970 se dio inicio a la producción a gran escala de éste y otros microorganismos con potencial para la obtención de proteínas; así, se estableció la primera planta de producción a gran escala de *Spirulina* de nuestro país (Espinoza, 2017).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Desde hace algunos años se ha reconocido el valor nutricional de las algas microscópicas debido a que contienen compuestos químicos de origen vegetal (fitoquímicos), carotenoides y otros antioxidantes similares a los de los vegetales verdes y amarillos, cuya ingesta es benéfica para la salud. De las microalgas se pueden obtener espesantes como carragenina y agar; colorantes y antioxidantes, tales como astaxantina (colorante rojo), betacaroteno (colorante amarillo/naranja), clorofila (colorante verde) y ficocianinas (colorante azul), entre muchos otros; así como también ácidos grasos, sobre todo los omega-3 (Espinoza, 2017).

Aunque el pescado es una buena fuente de este ácido graso, también contiene altas cantidades de ácido eicosapentaenoico (epa), el cual limita el crecimiento y provoca otros problemas del desarrollo. Por otro lado, se ha visto que el pescado puede ser una fuente de riesgo por la inclusión de metales pesados o toxinas a la dieta de los infantes. Para evitar el riesgo asociado y proveer a la industria de fórmulas con suficiente DHA, se ha utilizado la microalga *Crypthecodinium*. Las leches de fórmula adicionadas con este suplemento hoy se comercializan a nivel mundial (Espinoza, 2017). Aunque existe una gran variedad de microalgas que se utilizan para la obtención de ácidos grasos omega-3, además del DHA, la comercialización a gran escala se centra en dos tipos de microalgas: la *Chlorella* y la *Spirulina*.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Ambas tienen un alto valor nutritivo y, sobre todo, la capacidad de acumular proteínas. Además, a diferencia del aceite de pescado, su sabor y su olor no son tan marcados y pueden encapsularse para disminuir todavía más las características organolépticas que pudieran ser desagradables al gusto (Espinoza, 2017). En la actualidad las microalgas constituyen una de las principales fuentes de suplementos alimenticios; su producción industrial se ha incrementado de manera notable (Espinoza, 2017).

6.6. Ácidos grasos presentes en las microalgas

Los lípidos extraídos de microalgas son un conjunto de bioproductos de importancia económica y valor agregado, diversos autores sostienen un contenido porcentual en masa seca de 5 al 30% en valores generales, (Velázquez-Lucio *et al.*, 2018; De Carvalho, 2020). Sin embargo, al optimizar el método de extracción (solventes volátiles: etanol, hexano y acetona) y el cultivo óptimo, se pueden obtener porcentajes más altos de lípidos saponificables ricos en ácido eicosapentaenoico, (EPA), hasta de un valor superior al 50% (P.S.), y hasta más del 70% (Jiménez-Callejón, 2020; Tejeda *et al.*, 2015).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

La bioimportancia y valor económico de ácidos grasos como el EPA, el ARA (ácido araquidónico), y el DHA (ácido docosahexaenoico) debe ser mencionada en este trabajo.

El aspecto terapéutico de los ácidos grasos DHA y EPA omega tres ($\omega 3$) ha sido comprobado, de manera fehaciente en enfermedades inflamatorias y desordenes cardiovasculares, ya que funcionan como reguladores a través de sus derivados, los complejos antiinflamatorios celulares resolvina-protectina-maresina y sus eicosanoides anti-trombóticos (Delesderrier *et al.*, 2020). El aporte al proceso metabólico de estos compuestos es innegable, dado que además son precursores de componentes lipídicos más importantes, como esteroides, esfingolípidos, fosfolípidos, gliceroides, prostaglandinas, carotenoides, estrógenos y lípidos estructurales (Bohinski, 1994). Las rutas metabólicas en donde intervienen los ácidos grasos en general son muy amplias y conllevan un estudio aparte, su obtención de forma directa optimiza y acelera su aprovechamiento en muy diversas áreas.

El consumo de ácidos grasos a partir de microalgas brinda muchos beneficios como ayuda a la agudeza visual, mejor habilidad cognitiva para agregar información, ayuda al sistema cardiovascular, al sistema inmunológico como coadyuvantes en el tratamiento del SIDA, sobre el sistema nervioso, durante la gestación (Sánchez, 2020).

	SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Tabla 3. Microalgas potenciales como fuente primaria de PUFAs (de Rendon et al., 2015).

AGPI	Aplicación potencial	Microorganismo productor
Ácido Docosaheptaenoico (DHA)	Preparados infantiles para lactantes Suplementos nutricionales Acuicultura	Crypthecodinium, Schizochytrium
Ácido Eicosapentaenoico (EPA)	Suplementos nutricionales Acuicultura	Nannochloropsis, Phaeodactylum, Nitzschia Pavlova
g-Ácido Linoleico	Suplementos nutricionales Acuicultura	Spirulina
Ácido Araquidónico (AA)	Preparados infantiles para lactantes Suplementos nutricionales	Porphyridium

Las microalgas son particularmente efectivas en el proceso de biosíntesis de ácidos grasos omega-3. Especies como *Cryptheconium*, *Mortierella* y *Schizochytrium* se cultivan artificialmente en grandes bioreactores y de las cuales se extrae aceite que es particularmente rico en fosfolípidos que contienen, ya sea DHA (estas algas no producen EPA o lo hacen en muy baja concentración) o ácido araquidónico (C20:4, AA), un ácido graso omega-6 que también tiene importancia nutricional.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Los fosfolípidos que contienen tanto DHA como AA, o ambos ácidos grasos, se utilizan en la preparación de fórmulas lácteas que sustituyen a la leche materna (que naturalmente contiene ambos ácidos grasos, se pueden encapsular, micro encapsular y es posible que en el futuro se puedan nano encapsular. Las ventajas del uso de las micro algas para la obtención de ácidos grasos omega-3 son varias: se trata de un recurso renovable ya que provienen de cultivos artificiales; el aceite que se obtiene es rico en fosfolípidos, cualidad que se discutirá en las siguientes secciones; dicho aceite no tiene “olor a pescado”, con lo cual es organolépticamente más aceptable que el aceite de pescado; la estabilidad de los ácidos grasos poliinsaturados incorporados a los fosfolípidos es mayor que cuando estos ácidos grasos están incorporados a los triglicéridos, lo cual aporta una ventaja adicional a la estabilidad oxidativa de los productos que contienen este tipo de aceites. Otra ventaja de los fosfolípidos es que estos, a diferencia de los triglicéridos, son polares con lo cual son emulsionables e incluso actúan como emulsionantes, propiedad que permite su incorporación a matrices alimentarias acuosas, siendo su adición mucho menos compleja que la de los aceites en base a triglicéridos. Desde el punto de vista nutricional, la ventaja más destacable es que los ácidos grasos omega-3 son mucho más biodisponibles cuando se aportan en la forma de fosfolípidos que en la forma de triglicéridos (Sánchez, 2020).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Este último aspecto es muy relevante y ha reorientado la investigación y el desarrollo de productos conteniendo ácidos grasos omega-3. Actualmente el interés se centra en la obtención de fosfolípidos marinos, más que en los aceites marinos en base a triglicéridos (Valenzuela & Valenzuela, 2014).

6.7. Ácidos omegas 3, 6 y 9

Los ácidos grasos son un conjunto amplio de moléculas con distintas características. Por ejemplo, los hay de cadena corta, de cadena larga, insaturados, saturados y una mezcla de lo anterior. Además, para el caso de los insaturados, la nomenclatura omega da cuenta del lugar, contando desde el grupo metilo, donde aparece el primer doble enlace. Esto permite clasificar a los ácidos grasos como omega-9, omega-6 y omega-3. Todos los ácidos grasos mencionados tienen efectos sobre el organismo: desde generar energía o modular una acción bioquímica como fisiológica del individuo. Entre otros componentes de la dieta, las cantidades relativas del conjunto de ácidos grasos modulan finalmente si la dieta consumida es saludable o perjudicial para la salud.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Es interesante mencionar que además de aportar energía, también confieren mayor o menor fluidez, pueden actuar como segundos mensajeros y como resultados de su transformación metabólica, pueden generar distintos mediadores que conforman una serie de metabolitos que se pueden considerar bioactivos. Así los fosfolípidos de las membranas de distintos tejidos están constantemente en remodelación lo que permite a las membranas celulares contener ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en la posición 2 (Sanhueza et al., 2015). En la dieta se obtienen todos los ácidos grasos, desde saturados, insaturados, trans, de cadena corta, media, larga y muy larga. Aunque sin duda, los ácidos grasos poliinsaturados, y en especial los ácidos grasos omega 6 y omega 3, se consideran en la actualidad como los de mayor relevancia dado que además de aportar energía, se pueden biotransformar, generando componentes bioactivos con variadas acciones fisiológicas. Desde este punto de vista se considera que el ácido linoleico (18:2 omega -6, LA) y el ácido α -linolénico (18:3 omega -3, ALA) son ácidos grasos esenciales (AGEs) (Sanhueza et al., 2015). Las microalgas han surgido como una alternativa renovable para la obtención de AGPICL omega-3, principalmente por su aporte de EPA y/o DHA y buen rendimiento de extracción.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Estos microorganismos pueden ser cultivados artificialmente a escala industrial y debidamente procesados (liofilizados, microencapsulados, etc.) o el aceite y/o los fosfolípidos extraídos de ellos (consumidos como tal o microencapsulados), puede ser utilizados para adicionarse a una variedad de alimentos para humanos (Valenzuela et al., 2015).

6.8. Secado

El término secado se aplica a la eliminación de líquidos desde la matriz sólido-líquido de un producto dado, este proceso aplicado a los productos biológicos es aún más fino y complejo, ya que la interacción calor, medio de transporte (aire), y el conjunto sólido-líquido deben estar en un equilibrio tal que permita el retiro de la humedad del complejo, sin generar alteraciones indeseables en el componente seco. Los fenómenos involucrados en la transferencia de calor (conducción, convección y radiación), junto con los intervalos de tiempo, temperatura y humedades son variables iniciales muy importantes. Este proceso aplicado a productos biológicos añade el valor de la preservación, pues los microorganismos que metabolizan y afectan la calidad final de un componente biológico requieren agua para efectuar su acción degradativa, ya que la ausencia

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

de agua no permite la acción enzimática de las bacterias. Si se lleva un producto biológico de importancia a una humedad entre el 5-10% (p/p), dicho producto podrá ser preservado por un periodo mucho mayor, si es correctamente almacenado (Geankoplis, 1996). De acuerdo con Hosseinizand *et al.* (2017), las microalgas tienen un valor porcentual de humedad cercano al 80%, el proceso de eliminación de tan alta proporción de humedad, conservando la mejor relación cantidad-calidad de metabolitos valiosos es un reto actual.

El secado de microalgas se basa en valores muchas veces determinados de forma experimental, tales como: El modelo de transferencia de calor, la constante de equilibrio del proceso, el área de secado, la masa de secado del producto biológico, las constantes de transferencia de calor de los componentes clave, etc., (Biz *et al.*, 2019). Estos conceptos son sumamente relevantes para determinar el mejor método de secado y la eficiencia del mismo en relación a la conservación de las propiedades funcionales de las macromoléculas (lípidos, carbohidratos, proteínas, etc.) de interés para la presente investigación.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

6.9. Secado convectivo

El concepto básico de secado por convección es generar una corriente de aire caliente con una temperatura más alta que el medio, por el principio termodinámico de la entalpía, los gases con más alta temperatura tienden a sólo transportar su propia masa, es decir sólo la mezcla de gases que conocemos como aire, esta propiedad es la que permite, que dicho aire al ser inyectado de forma forzada a través de una cámara de secado, circule de forma lineal sobre una capa de material biológico colocado en charolas de dimensiones sujetas a diseño experimental, esta biomasa cuenta con una temperatura menor, y una humedad sensiblemente mayor, este modelo de intercambio de humedad se aprovecha del gradiente de temperatura del gas circulante con respecto a la materia húmeda, de ahí se genera un aumento en la presión de vapor del agua líquida presente en dicho material biológico, esta agua líquida se vaporiza al paso del aire caliente, dándose un intercambio de humedad, llamado secado (Geankoplis, 1996).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Este proceso es a todas luces el más sencillo por materiales, elaboración, demanda energética y operación; sin embargo, es el método menos eficiente en tiempo de operación en términos generales, asimismo el secado por convección presenta parámetros menos controlables derivados del hecho de que es un sistema semicerrado, además de la posible presencia de agentes contaminantes que se encuentren en el aire de entrada (Geankoplis, 1996).

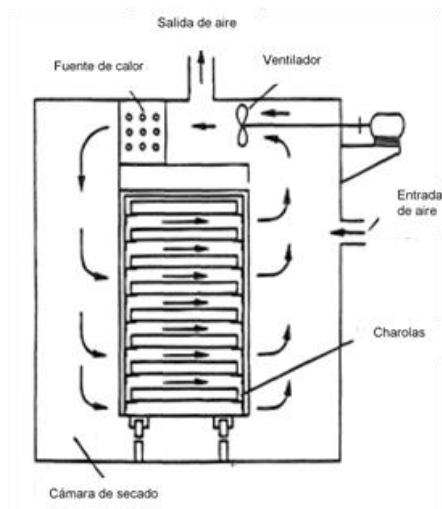


Ilustración 5. Esquema de secado por convección (Thermophedia.com).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

6.10. Secado convectivo de biomasa microalgal

Después del cosechado, el concentrado de algas es secado para su estabilidad, como producto final, para extracción de metabolitos u otros procesos posteriores. La deshidratación de microalgas se utiliza comúnmente para extender la vida útil de la biomasa. Secar una sustancia tan delicada es un reto y requiere una respuesta innovadora. Los diversos sistemas de secado difieren tanto de los costos de inversión y los requerimientos energéticos. La selección del método de secado depende de la escala de operación y también de la utilidad del producto seco. (Molina Grima *et al.*, 2003; Show *et al.*, 2013). Los métodos de secado que se han utilizado para microalgas incluyen secado por aspersion, secado en tambor, liofilización y secado solar. El secado por aspersion es el método de elección para los productos de alto valor, pero puede causar deterioro en algunos componentes de las algas, tales como los pigmentos. El elevado costo del secado puede ser un obstáculo importante para producir biomasa en polvo, para su uso en alimentación humana y de ganado. La liofilización ha sido ampliamente utilizada para el secado de microalgas en laboratorios que realizan investigación, sin embargo, es muy caro para su uso a gran escala (Molina Grima *et al.*, 2003).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

7. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

7.1. Implementación de las condiciones de cultivo de las microalgas

Nannochloropsis oculata y *Chlorella vulgaris*.

Las cepas de *Nannochloropsis oculata* y *Chlorella vulgaris* se propagaron en matraces de 125 mL con 100 mL de Medio Basal Bold (MBB) estéril con inóculo inicial de 20 mL sin aireación a 20 ± 2 °C, con iluminación continua a $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Protocolo de Nichols, 1973) por 7 días (Anexo A). Para escalar la siembra de las microalgas a los fotobiorreactores se utilizó 1 matraz balón de fondo plano de 6000 ml con 5000 mL de MBB estéril y 500 mL de inóculo en suspensión del cultivo anterior a 20 °C con una intensidad luminosa de $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en constante aireación por seis días (Anexo B). Posteriormente se continuó con la producción de biomasa a 20 L y 200 L con inóculo en suspensión del cultivo anterior a las mismas condiciones de temperatura e iluminación (Anexo C).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

7.2. Crecimiento celular.

El crecimiento celular se registró a través de muestras de los cultivos microalgales, de 1 mL cada 24 horas, utilizando una cámara de Neubauer de 0.1 mm de profundidad (Ilustración 6) y un microscopio óptico marca Zeiss observando a 40 X (Ilustración. 7), para estimar las fases de crecimiento en las condiciones de cultivo mencionadas y así obtener la curva de crecimiento, de acuerdo con Arredondo-Vega y Voltolina-Lobina (2007) (Anexo D).

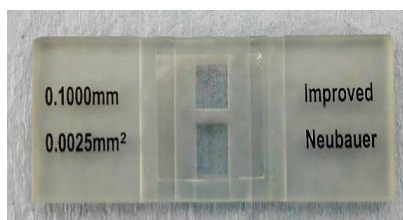


Ilustración 6. Cámara de Neubauer.



Ilustración 7. Microscopio óptico marca ZEISS Axiostar (1122- 100), empleado para el conteo celular.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

7.3. Determinación de biomasa del cultivo de *Nannochloropsis oculata* y *Chlorella vulgaris*.

Para determinar la producción de biomasa (mg mL^{-1}), se pesó una membrana (papel filtro) de 50 mm de diámetro modelo Millipore de $0.45 \mu\text{m}$, se secó previamente en incubadora modelo AR-130 D (Ilustración 8a) a 60°C durante 24 horas, registrando el peso seco (peso membrana seca, Pms en mg).

Se tomaron muestras de 400 mL, se centrifugaron a 4,000 rpm durante 40 minutos en una centrífuga Marca Centrificient IV (Fig. 8b). Se decantó el sobrenadante y se filtró en las membranas (Fig. 8c). Posteriormente se enjuagó con 10 mL de formato de amonio al 3% (0.5 M) (Anexo E). Las membranas se colocaron en la incubadora a 60°C por 24 horas o hasta llegar a peso constante registrando el peso de la membrana (peso seco con microalgas, Pmms en mg). Se aplicó la ecuación (Ec. 1) para determinar la biomasa en base seca (BS) en mg mL^{-1} .

$$\text{BS} = ([\text{Pmms (mg)} - \text{Pms (mg)}]) / (\text{Vm (mL)}) \dots\dots\dots \text{Ec. 1}$$

Donde:

Bs: Biomasa en base seca (mg)

Pmms: Peso seco de membrana con microalga filtrada (mg)

Pms: Peso seco de la membrana (mg)

Vm: Volumen de muestra (mL)

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

En la figura siguiente (Ilustración 8), tenemos los dos equipos mencionados en párrafos anteriores: (a) la centrífuga, (b) la incubadora y, finalmente una caja Petri con biomasa húmeda (c).



(a)

(b)

(c)

Ilustración 8. Equipo para determinación de biomasa microalgal.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

7.4. Extracción lipídica por método Soxhlet.

La cantidad de biomasa obtenida previamente seca y pesada (mg) se sometió a una extracción con una mezcla cloroformo/metanol (1:2 v/v) por el método Soxhlet (Ilustración 9) (Halim et al., 2012).

Se lavaron los matraces de extracción con ácido clorhídrico al 10%, se enjuagaron con agua destilada y se secaron durante 24 horas a 60 °C., una vez secos se registró el peso de los matraces (m1) (Anexo F).

La muestra de biomasa se colocó en el tubo de extracción, posteriormente en cada matraz balón de 250 mL, se agregó aproximadamente 100 mL de la mezcla de cloroformo/metanol y se colocó en el tubo de extracción Soxhlet. Para el calentamiento y extracción se mantuvo a 100 °C a una velocidad de goteo constante, realizándose 4 reflujos.

Una vez terminada la extracción, se recuperó la mayor cantidad de solvente por destilación. Posteriormente, se realizó el secado del matraz con la grasa en incubadora a 60 °C durante 24 horas, se dejó enfriar dentro de un desecador adicionado sílica gel y por último se registró el peso (m2).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Se realizaron los cálculos pertinentes para conocer la cantidad de lípidos extraídos con la ecuación (Ec. 2):

$$\% \text{ grasa cruda} = (m_2 - m_1) / m \times 100 \dots \dots \dots \text{Ec. 2}$$

Donde:

m= peso de la muestra

m1: tara del matraz solo

m2= peso matraz con aceite



Ilustración 9. Extracción de lípidos por método Soxhlet.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

7.5. Derivatización de ácidos grasos.

La derivatización o esterificación se realizó adicionando a la muestra de lípidos obtenida 3 pastillas de KOH, seguido de adicionar 30 mL de metanol y 10 mL de agua destilada, se llevó a evaporación en una parrilla con agitación constante, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente para adicionar 30 mL de HCl al 3% en metanol, colocándola nuevamente a evaporación hasta observar la formación de sales, se enjuagó la muestra con 20 mL de agua destilada y se colocó en un embudo de separación, agregando 10 mL de hexano y agitando fuertemente durante un minuto repitiendo este proceso dos veces más, se dejó que se formaran 2 fases desechando el precipitado. El sobrenadante se colocó en un vaso de precipitado de 100 mL verificando que no quedaran residuos del precipitado. Finalmente, se evaporó el solvente presente aforando a 200 μ L, terminado el proceso se guardó en un vial color ámbar para leerlo posteriormente en un cromatógrafo de gases (modificado de Lepage & Roy, 1984) (Anexo G).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

7.6. Identificación y cuantificación de FAMES por el método cromatográfico.

Para identificar y cuantificar los FAMES se realizó por cromatografía de gases utilizando un Cromatógrafo marca Perkin Elmer, Mod. Clarus 580. Las condiciones de lectura fueron bajo el siguiente método. De acuerdo a la columna SP-2560, de 100 m x 0.25 mm I.D., 0.20 μ m film, 24056, la temperatura del horno inició a 140 °C (5 min) hasta 240 °C a 4 °C/min, como gas portador, helio a 20 cm/s, la temperatura del inyector a 260 °C, se inyectó 1 μ L, en modo Split 100:1 y se utilizó el detector de ionización de llama (FID) a 260 °C, (Hussain et al., 2015; Pavón-Suriano et al., 2018).

7.7. Metodología de Secado Microalgal

7.7.1. Secado por convección.

El secado de capa fina por convección requirió un secador de horno de aire caliente a la temperatura de entrada en rangos de 50-70°C, construido en acero inoxidable, grado alimenticio, la pasta de biomasa microalgal se esparció hasta un espesor de 5mm, y el aire caliente se movió con un ventilador a 1.5 m(s-1).

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

La masa inicial de microalga se comparó con las mediciones en varias etapas del proceso, con el fin de establecer curvas de secado y modelar el fenómeno. El tiempo de residencia también puede fluctuar, llegando hasta los 10 min, (Anexo H) (Omotoso et al., 2020). En la Ilustración 10, se tiene un secador de flujo convectivo, con los elementos de operación que fueron necesarios para este trabajo. Fuente: <https://acequilabs.com.co/horno-de-secado-para-laboratorio/>



Ilustración 10. Secador de horno convectivo.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

8. RESULTADOS

En la Ilustración 11 se puede observar la densidad celular (cel mL^{-1}) contra el tiempo de día cero al 14, los datos obtenidos reales en base al protocolo de Nichols (1973), arrojan valores típicos, dado que la literatura establece que la densidad celular en el caso de *N. oculata* (azul) está relacionada con la intensidad lumínica ($110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), y por ello cercana a $40 \times 10^6 \text{ cel mL}^{-1}$ con una máxima densidad de $36 \times 10^6 \text{ cel mL}^{-1}$ en fase estacionaria (día 12). Para *C. vulgaris*, (rojo) la densidad máxima fue cercana a $18 \times 10^6 \text{ cel mL}^{-1}$ en fase exponencial (día 9), se tienen datos similares a la literatura, esperados por las condiciones de cultivo aplicadas (Tabla 4) (Martínez-Macías *et al.*, 2017; Tejeda-Benítez *et al.*, 2015; Pavón-Suriano *et al.*, 2018).

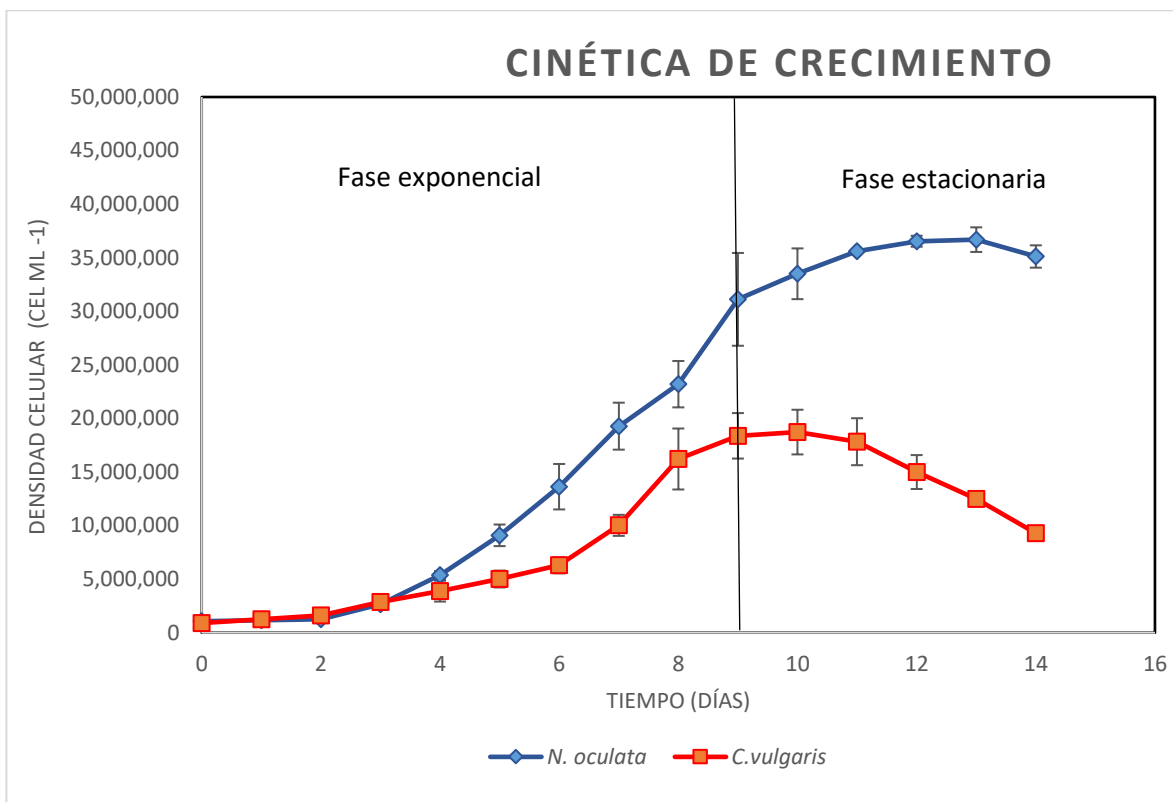


Ilustración 11. Cinéticas de crecimiento reales en el Laboratorio de Biotecnología de Microalgas y Bioenergías.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Tabla 4. Comparación de resultados de cinética de crecimiento de *Nannochloropsis oculata* y *Chlorella vulgaris* con investigaciones externas.

Microalga	Fase De crecimiento y Densidad celular (cel. ml ⁻¹)	Condiciones de cultivo	% de Lípidos	Referencia
<i>Chlorella vulgaris</i>	26 x10 ⁶ Exponencial (día 3) 28 x10 ⁶ Estacionaria (día 4)	Tipo de Cultivo: Watanabe modificado/ Guillard H/2 vitaminas y CO ₂ 28°C ± 1°C pH entre 6 y 7	42 mg/L/día	Sánchez- Borroto <i>et al.</i> (2018)
<i>Chlorella vulgaris</i>	0.15 g/L/día Exponencial (día 4) Estacionaria (día 6)	Tipo de Cultivo: Bristol 3500 Lux 30°C	42 mg/L/día	ICIDCA (Cuba, 2018)
<i>Chlorella vulgaris</i>	38 x10 ⁶ Exponencial: mayor a 15 días (nutrientes en aumento) Estacionaria: no reportada	Tipo de cultivo: N ₂ a 4 mMo (fertilizante comercial) Iluminación: natural Temperatura: 30°C 15 días	N/D	Infante <i>et al.</i> (2012)
<i>Chlorella vulgaris</i>	28.06 x10 ⁶ ± 1.42 x10 ⁶ Exponencial (día 9) 20.59 x10 ⁶ ± 0.73 x10 ⁶ Estacionaria (día 11)	Tipo de cultivo: Medio Basal Bold 110 µmol E/m ² /s 20°C Aireación	Por procesar	Presente investigación

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Nannochloropsis oculata	0.59 gL ⁻¹ Exponencial (día 21) ND Estacionaria (día 23)	Tipo de cultivo: 0,025 g NaCl L ⁻¹ ; 21 °C y 16:8 h luz: oscuridad 25°C	6.95 mg/l/día (NaCl 0,025 g L ⁻¹)	Tadeo- Sánchez et al., (2014)
Nannochloropsis oculata	175 ± 1.83 × 10 ⁶ 148 ± 1.97 × 10 ⁶ (650 y 400 µmol E/m ² /s) Exponencial (día 11) 170 ± 1.83 × 10 ⁶ 144 ± 1.97 × 10 ⁶ (650 y 400 µmol E/m ² /s) Estacionaria (día 13)	Tipo de cultivo 25 °C, pH= 8 e intensidades de luz de 80, 200, 400 y 650 µmol E/m ² /s, en medio f/2 de Guillard, adicionado cada 72 h	A 650 µmol E/m ² /s alcanzó un valor de 44.44 ± 0.76 %, el doble de lo obtenido a 80 µmol E/m ² /s	Martínez- Macías et al., (2016)
Nannochloropsis oculata	27 x10 ⁶ Exponencial (día 40) 23 x10 ⁶ Estacionaria (día 43)	Tipo de cultivo: “f/2” de Guillard y Ryther (1962). Temperatura (20 ± 1°C), salinidad (35‰) y luz continua	67.43 µg·mg ⁻¹	Anzueto- Sánchez (CICESE, 2008)

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

<i>Nannochloropsis</i> <i>oculata</i>	42.62 x10 ⁶ ± 0.93 x10 ⁶	Tipo de cultivo: Medio Basal Bold	Por procesar	Presente investigación
	Exponencial	110 µmol E/m2/s		
	(día 11)	20°C		
	31.41 x10 ⁶ ± 1.26 x 10 ⁶	Aireación		
	Estacionaria			
	(día 13)			

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

En la Tabla 5 se puede observar que para *Chlorella vulgaris* y *Nannochloropsis oculata*, la mayor producción de biomasa fue en su fase exponencial. De igual manera, para las dos cepas de Microalgas el mayor porcentaje de lípidos se presentó en su fase estacionaria. Dado a esto, se tienen datos similares a la literatura esperados por las condiciones de producción y productividad del crecimiento Microalgal (Tabla 6).

Tabla 5. Variables de respuesta de producción y productividad del crecimiento Microalgal.

Microalga	Fase de crecimiento	Densidad celular (cel ml ⁻¹)	Producción de biomasa (g L ⁻¹)	Productividad de biomasa (g L ⁻¹ d ⁻¹)	% de Lípidos	Producción de lípidos (g L ⁻¹)	Productividad de lípidos (g L ⁻¹ d ⁻¹)
<i>Chlorella vulgaris</i>	Exponencial	28.06 x10 ⁶ ± 1.42 x10 ⁶	0.8169 ± 0.0932	0.0743 ± 0.0085	13.82 ± 3.06	0.1113 ± 0.0147	0.0101 ± 0.0013
	Estacionaria	20.59 x10 ⁶ ± 0.73 x10 ⁶	0.3843 ± 0.0821	0.0320 ± 0.0068	36.89 ± 2.58	0.1415 ± 0.0293	0.0118 ± 0.0024
<i>Nannochloropsis oculata</i>	Exponencial	42.62 x10 ⁶ ± 0.93 x10 ⁶	0.6123 ± 0.0767	0.0612 ± 0.0077	13.55 ± 3.06	0.0814 ± 0.0074	0.0081 ± 0.0007
	Estacionaria	31.41 x10 ⁶ ± 1.26 x10 ⁶	0.4104 ± 0.0047	0.0373 ± 0.0004	30.41 ± 1.41	0.1248 ± 0.0050	0.0113 ± 0.0005

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Tabla 6. Comparación de las variables de respuesta con lo reportado en otras investigaciones.

Microalga	Producción de biomasa (g L ⁻¹)	Productividad de biomasa (g L ⁻¹ d ⁻¹)	% de Lípidos	Producción de lípidos (g L ⁻¹)	Productividad de lípidos (g L ⁻¹ d ⁻¹)	Referencia
<i>Chlorella vulgaris</i>	0.32	0.017	19.2	0.091	0.00326	Tejeda- Benítez et al. (2015)
<i>Chlorella vulgaris</i>	0.34 ± 0.10	0.02125 ± 0.010	18.76 ± 0.50	0.06358	0.0039	Pérez- Romero, (2019)
<i>Chlorella vulgaris</i>	1.38	0.09861 ± 0.010	40.23	0.55	0.03967	Henao- Argumedo, (2015)
<i>Chlorella vulgaris</i>	0.3843 ± 0.0821	0.0320 ± 0.0068	36.89 ± 2.58	0.1415 ± 0.0293	0.0118 ± 0.0024	Presente investigación
Microalga	Producción de biomasa (g L ⁻¹)	Productividad de biomasa (g L ⁻¹ d ⁻¹)	Lípidos (%)	Producción de lípidos (g L ⁻¹)	Productividad de lípidos (g L ⁻¹ d ⁻¹)	Referencia
<i>Nannochloropsis oculata</i>	0.6958	0.0497	50.4	0.2114	0.0151	Sirin et al. (2015)
<i>Nannochloropsis oculata</i>	0.39	0.0279	44.44 ± 0.76	0.640 ± 0.005	0.040 ± 0.0005	Martínez- Macias, (2017)

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO		
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO		
	<i>Proyecto de Residencias Profesionales</i>		

<i>Nannochloropsis</i> <i>oculata</i>	0.504	0.024	30.72	0.1459	0.00695	Tadeo- Sánchez et al. (2014)
<i>Nannochloropsis</i> <i>oculata</i>	0.4104 ± 0.0047	0.0373 ± 0.0004	30.41 ± 1.41	0.1248 ± 0.0050	0.0113 ± 0.0005	Presente investigación

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

En la Tabla 7 se observa los porcentajes de los ácidos grasos identificados: Ácido butírico, Ácido caproico, Ácido cis-10 pentadecanoico, Ácido palmítico, Ácido elaídico, Ácido oleico, Ácido linoleaídico y Ácido araquidónico, en el cual el ácido palmítico fue el que resultó con un mayor porcentaje en la fase estacionaria de *Chorella vulgaris* con un 60.90 %. Siendo este el de mayor presencia después del secado de la biomasa.

Tabla 7. Perfil de ácidos grasos.

		<i>Chlorella vulgaris</i>		<i>N. oculata</i>				<i>Chlorella vulgaris</i>		<i>N. oculata</i>	
		Fase de crecimiento		Fase de crecimiento				Fase de crecimiento		Fase de crecimiento	
		Exp	Est	Exp	Est			Exp	Est	Exp	Est
Ácido graso	Nombre	(%)	(%)	(%)	(%)	Ácido graso	Nombre	(%)	(%)	(%)	(%)
C4:0	Ácido butírico		0.57	2.63	5.99	C18:0	Ácido esteárico	1.61	0.27	1.12	
C6:0	Ácido caproico	8.09	0.54	0.34		C18:1n9t	Ácido elaídico	1.50	0.72	0.03	37.99
C8:0	Ácido caprílico	0.65				C18:1n9c	Ácido oléico		18.51	41.60	
C10:0	Ácido cáprico					C18:2n6t	Ácido linoleaídico		16.32		
C11:0	Ácido undecanoico					C18:2n6c	Ácido linoleico		0.01		17.27
C12:0	Ácido láurico				0.16	C20:0	Ácido araquidónico	17.99	1.76		
C13:0	Ácido tridecanoico					C18:3n6	Ácido gamma linolénico	2.14		0.01	
C14:0	Ácido mirístico					C20:1	Ácido cis-11 eicosen			0.01	
C14:1	Ácido miristoleico					C18:3n3	Ácido linolénico				
C15:0	Ácido pentadecanoico					C21:0	Ácido heneicosanoico				
C15:1	Ácido cis-10 pentadecanoico				38.29	C22:2	Ácido cis-13, 16 doc				
C16:0	Ácido palmítico	46.21	60.90	53.99		C24:0	Ácido lignocérico	0.44			
C16:1	Ácido palmitoleico					C20:5n3	Ácido cis-5,8,11,14				
C17:0	Ácido heptadecanoico					C24:1	Ácido nervónico				
C17:1	Ácido cis-10 heptadecanoico			0.22		C22:8n3	Ácido cis-4,7,10,13				

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

9. CONCLUSIONES

Una vez realizado el estudio del presente proyecto, se cuenta con la información necesaria y suficiente que permite llegar a la siguiente conclusión:

Nannochloropsis oculata presenta la mayor densidad celular en fase exponencial (42.62×10^6 cel mL⁻¹). *Chlorella vulgaris* presenta mayor producción y productividad de biomasa en fase exponencial (0.8169 g L^{-1} y $0.0743 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$).

Ambas cepas presentan mayor % de lípidos en fase estacionaria (36.89 y 30.41 %), siendo *Chlorella vulgaris* el de mayor %. No se observan diferencias significativas en la producción y productividad de lípidos entre cepas.

El mayor % de ácidos grasos se presenta en fase estacionaria (60.90 %), los principales ácidos grasos identificados son: Ácido butírico, Ácido caproico, Ácido cis-10 pentadecanoico, Ácido palmítico, Ácido elaídico, Ácido oleico, Ácido linoleaídico y Ácido araquidónico, donde el Ácido palmítico fue el de mayor presencia con un 60.90 %.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Por motivos de la pandemia no se pudo realizar el secado convectivo en el Instituto Tecnológico de Veracruz como se tenía contemplado, por lo que se optó por realizar un secado en horno convectivo en las instalaciones del Laboratorio de Biotecnología de Microalgas y Bioenergías, a una temperatura de 60 °C por un tiempo de 24 h, logrando satisfactoriamente las metas trazadas en este trabajo.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

10. RECOMENDACIONES

- Se debe de cuidar el tiempo y los rangos de temperatura del secado ya que de acuerdo con los resultados obtenidos si existe variación en el perfil lipídico en la biomasa microalgal.
- Considerar otro tipo de secado que afiance la mayor cantidad de lípidos extraídos debido a que da la pauta para emplear estos compuestos en otras industrias (alimenticia, cosmética, medicinal).
- Llevar a cabo una investigación específica para desarrollar nuevos procesos de secado que representen la mínima afectación al contenido lipídico y perfil de ácidos grasos presentes en la biomasa de las microalgas.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

11. EXPERIENCIA PERSONAL PROFESIONAL ADQUIRIDA

Esta práctica profesional me permitió reafirmar los conocimientos adquiridos durante la estancia en la carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias, demostrando la capacidad para analizar, diseñar e implementar estrategias, así como entusiasmo, puntualidad e interés para cumplir con los objetivos y actividades propuestas en el trabajo. Además, este proyecto ha sido de gran ayuda para tomar experiencia en el ramo de la investigación, ya que trabajar en un entorno de trabajo con profesionales de maestría y doctorado, es muy enriquecedor por todos los factores con que se tiene relación. Por último, aprendí que el campo de la alimentación es muy extenso, ya que las microalgas se presentan como una fuente potencial de compuestos bioactivos para ser utilizados en la industria alimentaria generando alimentos funcionales como método para mejorar y mantener la salud. Hoy en día, el consumidor demanda alimentos más naturales con beneficios para la salud y, en consecuencia, se espera que las microalgas desarrollen en el futuro un importante papel en la industria alimentaria.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

12. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

Instrumentales

- Capacidad de análisis.
- Capacidad de organizar y planificar.
- Conocimientos básicos de la carrera.
- Habilidades básicas de manejo de la computadora.
- Habilidades de gestión de información (habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas).
- Solución de problemas.
- Toma de decisiones.

Interpersonales

- Trabajo en equipo.
- Capacidad de comunicarse con profesionales de otras áreas.
- Habilidad para trabajar en un ambiente laboral.
- Compromiso ético.
- Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica.
- Habilidades de investigación.
- Capacidad de aprender.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

- Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones.
- Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad).
- Liderazgo.
- Habilidad para trabajar en forma autónoma.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

13. FUENTES DE INFORMACIÓN

[://www.chemspider.com/](http://www.chemspider.com/)

Agudelo Rivera, E. (2020). Las microalgas como fuente de nutrientes en vías de desarrollo.

Aguilar, P. C., & Flórez-Castillo, J. M. (2020). Microalgas y sus aplicaciones biotecnológicas.

Analíticas en la evaluación de la Biomasa Microalgal. Dissertation, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, 97 pp.

Arredondo-Vega B., Voltolina-Lobina D. (2007) Métodos y Herramientas

Barranco Montesinos, D. A. (2016). Análisis de la pérdida de lípidos durante el secado conectivo de la biomasa de microalgas.

Barsanti, Laura, & Gualtieri, Paolo. (2014). Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology: CRC press.

Bohinski, R.C., (1994). Biochemistry. Addison-Wesley. 5ta Ed. 419-440.

Borowitzka, M.A., (2018). Biology of Microalgae. In book: Microalgae in Health and Disease Prevention (pp.23-72).

Cecchin, M., Marcolungo, L., Rossato, M., Girolomoni, L., Cosentino, E., Cuine, S., Li-Beisson, Y., Delledonne, M., Ballottari, M. (2019). Chlorella vulgaris genome assembly and annotation reveals the molecular basis for metabolic acclimation to high light conditions. *The Plant Journal*. Volume100, Issue 6 Pages 1289-1305.

Cha, T.S., Yee, W., Aziz, A. (2012). Assessment of factors affecting Agrobacterium-mediated genetic transformation of the unicellular green alga, Chlorella vulgaris. *World J Microbiol Biotechnol*. 28:1771–1779

Chaparro Rojas, G. V. (2017). *Evaluación del suero lácteo en la producción de biomasa y lípidos en la microalga Chlorella vulgaris a escala de laboratorio* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

De Carvalho, J. C., Magalhães, A.I., Microalgal biomass pretreatment for integrated processing into biofuels, food, and feed. (2020). *Biosource Technology*, 2-3.

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Delesderrier, E., Currioni, C., Omena, J., Reis, C., Cople, C., Citelli, M., (2020). Antioxidant nutrients and hemolysis in sickle cell disease. *Clinica Chimica Acta*. Volume 510, November 2020, Pages 381-390

Desmorieux, H., Madiouli, J., Herraud, C., & Mouaziz, H. (2010). Effects of size and form of *Arthrospira Spirulina* biomass on the shrinkage and porosity during drying. *Journal of Food Engineering*, 100(4), 585-595. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.021>

Desmorieux, Hélène, & Decaen, Nadège. (2005). Convective drying of spirulina in thin layer. *Journal of Food Engineering*, 66(4), 497-503. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.021>

Espinoza, F. (2017). Microalgas en la alimentación ¿Suplementos novedosos o reinventados? *Ciencia*, 68(2), 1-4.

Fito Maupoey, P. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*.
 García, C. (2013). Producción de microalgas con aplicaciones nutricionales para humanos y animales. Cuadernos de estudios agroalimentarios, (5), 83-101.

García, J. L., De Vicente, M., & Galán, B. (2018). Presente y futuro del cultivo de las microalgas para su uso como superalimentos. Centro de Investigaciones Biológicas-CSIC e Instituto de Biología Integrativa de Sistemas-CSIC, Madrid. Recuperado el, 29.

García, J.L., De Vicente, M., Galán, B., (2017). Microalgae, old sustainable food and fashion nutraceuticals. *Microb Biotechnol.*; 10(5): 1017–1024.

Garibay-Hernández, A, Vázquez-Duhalt, Rafael, Sanchez-Saavedra, Maria, Serrano-Carreón, L, & Martínez-Jiménez, A. (2009). Biodiesel a partir de microalgas. *BioTecnología*, 13(3), 38-61.

Geankoplis, J.C., (1996). Procesos de transporte y operaciones unitarias. 2da Ed. C.E.C.S.A. M.X. 435-482.

Gómez, M. A. C., Tirado, D. A. M., & Posada, J. L. P. (2013). Desarrollo, producción y beneficio ambiental de la producción de microalgas. La experiencia en La Guajira, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 17(32), 113-126.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Gómez-Luna, L.M. (2007). Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*, vol. XIX, núm. 2, 2007, pp. 3-20. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

Guerra, C. D. P. L. (2012). Evaluación de la vida útil de floculados de *Nannochloropsis oculata* a distintas temperaturas de conservación (Doctoral dissertation, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO).

Hosseinzand, H., Sokhandsanj, S., Choon, J., (2017). Studying the drying mechanism of microalgae *Chlorella vulgaris* and the optimum drying temperature to preserve quality characteristics. *Drying Technology* 36(9). DOI: 10.1080/07373937.2017.1369986

<https://acuisurperu.com/pf/chlorella-vulgaris/>

https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Microalga-da-especie-Nannochloropsis-oculata_fig1_330745636

<https://acequilabs.com.co/horno-de-secado-para-laboratorio/>

Hussain, J., Liu, Y., Lopes, W., Druzian, J., Souza, C., Carvalho, G., Nascimento, I., Liao, W., (2015). Effects of Different Biomass Drying and Lipid Extraction Methods on Algal Lipids Yield, Fatty Acid Profile and Biodiesel Quality. *Appl Biochem Biotechnol*. 175:3048-3057. DOI10.1007/s12010-015-1486-5
Instituto Tecnológico de Boca del Río – TecNM-<https://bdelrio.tecnm.mx>

Jacob-Lopes, E., Ramírez-Mérida, L. G., de Menezes, C. R., & Zepka, L. Q. (2015). Microalgas: potencial para la producción de compuestos bioactivos nanoencapsulados. *Ciência e Natura*, 37, 07-17.

Jiménez, M., Robles, A., Macías, M., Cerdán, L., González, P., Navarro, E., Hita, E., Molina, E., (2020). Obtaining highly pure EPA-rich lipids from dry and wet *Nannochloropsis gaditana* microalgal biomass using ethanol, hexane and acetone. *Algal Research* 45. 101729

Macias, M. D. R. M., Duarte, R. G. S., Escalante, E. R. M., Mercado, R. G. U., & Cabrales, J. S. (2017). Síntesis de lípidos de la microalga *Nannochloropsis oculata* para su uso potencial en la producción de biodiesel. *Revista Internacional De Contaminacion Ambiental*, 33, 85-91.

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Mishaqa, E-S.I. (2017). Biosorption Potential of the Microchlorophyte *Chlorella vulgaris* for Some Pesticides. *Journal of Fertilizers & Pesticides* 8: 177(01)

Oliveira, E. G., Rosa, G. S., Moraes, M. A., & Pinto, L. A. A. (2009). Characterization of thin layer drying of *Spirulina platensis* utilizing perpendicular air flow. *Bioresource Technology*, 100(3), 1297- 1303. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.052>

Oliveira, Elizangela G. , Duarte, Jessica H., Moraes, Kelly, Crexi, Valeria T., & A. Pinto, Luiz A. (2010). Optimisation of *Spirulina platensis* convective drying: evaluation of phycocyanin loss and lipid oxidation. *International journal of food science & technology*, 45(8), 1572-1578

Rendón Castrillón, L. J., Ramírez Carmona, M. E., & Vélez Salazar, Y. (2015). Microalgas para la industria alimenticia.

Richmond, A., & Hu, Q. (2013). *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*: Wiley.

Sánchez, J., Loaíña, J., Agualongo, M., & Espinoza, K. (2020). Técnicas de cultivo y métodos de extracción de ácidos grasos a base de microalgas en beneficio de la humanidad. *Agroindustrial Science*, 10(3), 319-328.

Sanhueza Catalán, J., Durán Agüero, S., & Torres García, J. (2015). Los ácidos grasos dietarios y su relación con la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 32(3), 1362-1375.

Taher, Hanifa, Al-Zuhair, Sulaiman, Al-Marzouqi, Ali H., Haik, Yousef, & Farid, Mohammed. (2014). Effective extraction of microalgae lipids from wet biomass for biodiesel production. *Biomass and Bioenergy*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.02.034>

Tan, J.S., Lee, S.Y., Chew, K.W., Lam, M.K., Lim, J.W., Ho, S.H., Show, P.L., (2020) A review on microalgae cultivation and harvesting, and their biomass extraction processing using ionic liquids. *Journal Bioengineered* Volume 11, 2020 - Issue 1.

Tejeda, L., Henao, D., Alvear, M., Castillo, C., (2015). Caracterización y perfil lipídico de aceites de microalgas. *Fac. Ing. U. de Cartagena*, vol. 24 (39), pp. 43–54.

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Thermophedia.com

Tomaselli, L., (2007). The microalgal cell. *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology* (pp.1 - 19)

Valenzuela, A., & Valenzuela, R. (2014). Ácidos grasos omega-3 en la nutrición ¿cómo aportarlos?. *Revista chilena de nutrición*, 41(2), 205-211.

Valenzuela, A., Sanhueza, J., & Valenzuela, R. (2015). Las microalgas: Una fuente renovable para la obtención de ácidos grasos omega-3 de cadena larga para la nutrición humana y animal. *Revista chilena de nutrición*, 42(3), 306-310.

Vera, Y. C., Ordoñez, V. G., & Aponte, A. A. A. (2018). Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 16(1), 102-113.

Zanella, L., Vianello, F., (2020). Microalgae of the genus *Nannochloropsis*: Chemical composition and functional implications for human nutrition. *Journal of functional food*, 68, 3-6

	SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

14. ANEXOS

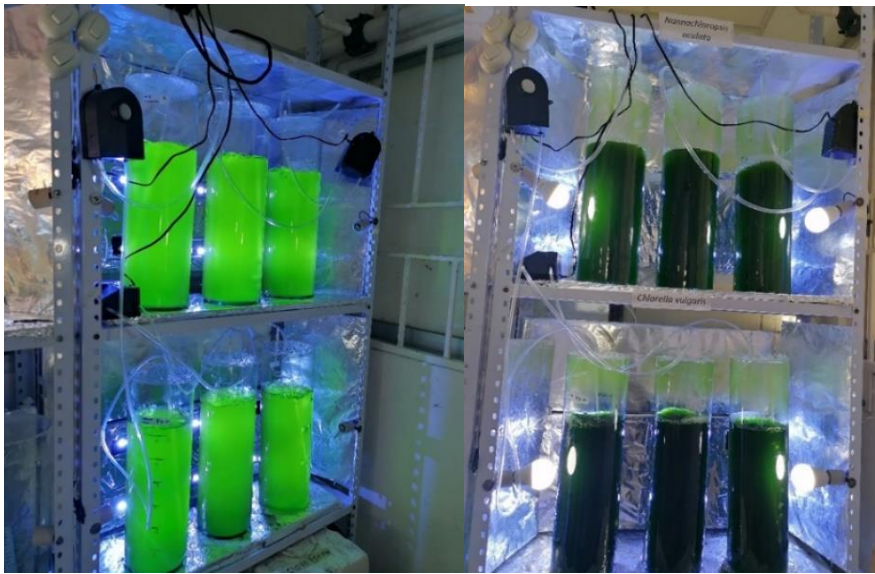
Anexo A. Inoculación



- Posterior al conteo
- Determinar el volumen inicial
- Garantizar axenia

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Anexo B. Cultivo control en fotobioreactores de 6 L (16 días de operación)



- 6L, 23°C
- $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
- Fases exponencial y estacionaria
- Bayfolan y complejo b
- Neubauer
- Aireación 3.5 l min^{-1}
- Axénico

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Anexo C. Escalamiento a 20 litros



- Preparación para el escalamiento a 200l
- Bayfolan y complejo b
- Aireación a 4 l min^{-1}

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Anexo D. Conteo con cámara de neubauer



- Estabilidad de crecimiento
- Seguimiento de la cinética
- Determinación de la densidad
- Revisión del estado axénico

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	<i>Proyecto de Residencias Profesionales</i>	

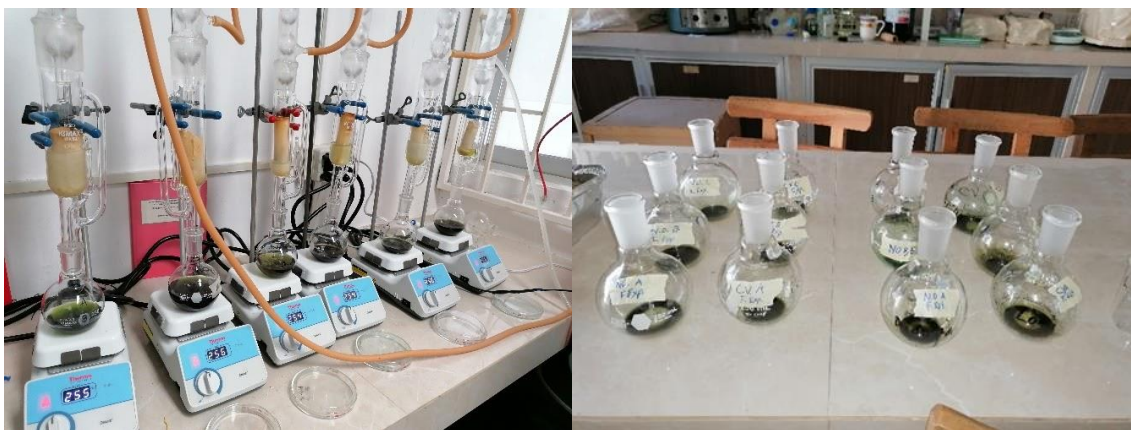
Anexo E. Centrifugación/filtración



- 4000 rpm
- 15 min
- Filtro whatman
- Concentrar biomasa microalgal

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Anexo F. Extracción soxhlet



- Cloroformo/metanol
- Efluentes no polares
- Siete ciclos de efluencia
- Determinaciones de masa pre y post extracción

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Anexo G. Derivatización



- KOH/Metanol/Agua destilada
- Formación de sales
- Evaporación
- Cromatografía de gases

	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Proyecto de Residencias Profesionales	

Anexo H. Secado en horno convectivo



- Temperatura 60 °C
- Tiempo 24 h