

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): MAIRET CELESTE APELLIDOS: VEGA MUÑOZ

NOMBRE(S): JORMAN STIFEN APELLIDOS: CASTRO

FACULTAD: CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA BIOTECNOLÓGICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): ANDRÉS FERNANDO APELLIDOS: BARAJAS SOLANO

TÍTULO DEL TRABAJO (MONOGRAFIA): ROL DE LUZ EN SINTESIS DE FICOCIANINA Y SUSTANCIAS EXOPOLIMERAS EN CIANOBACTERIAS

La cianobacterias son microorganismos de gran utilidad a nivel biotecnológico debido a que son organismos ideales para la producción de diversos productos, este artículo de revisión se realizó expresamente para lograr una descripción bibliográfica para la producción de ficocianinas de formas más eficiente durante los ciclos de luz y oscuridad, de esta forma analizar bibliométricamente la documentación relacionada con la producción de ficocianinas a nivel mundial, para esto se tomara en cuenta el uso de diversas cianobacterias principalmente *Oscillatoria sp.*

PALABRAS CLAVES: Ficocianina, cianobacterias, cepas, luz, Ficobiliproteínas, biotecnología.

CARACTERISTICAS:

PÁGINAS: 41 PLANOS: 0 ILUSTRACIONES: 4 CD ROOM: 0

EL ROL DE LUZ EN LA SÍNTESIS DE FICOCIANINAS Y SUSTANCIAS

EXOPOLIMERICAS EN CIANOBACTERIAS

MAIRET CELESTE VEGA MUÑOZ

JORMAN STIFEN CASTRO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
PLAN DE ESTUDIO INGENIERÍA BIOTECNOLÓGICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

EL ROL DE LUZ EN LA SÍNTESIS DE FICOCIANINAS Y SUSTANCIAS

EXOPOLIMERICAS EN CIANOBACTERIAS

MAIRET CELESTE VEGA MUÑOZ

JORMAN STIFEN CASTRO

Monografía presentada como requisito para optar al título de
INGENIERO BIOTECNOLÓGICO

Director

Biol, Ph.D ANDRES FERNANDO BARAJAS SOLANO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
PLAN DE ESTUDIO INGENIERÍA BIOTECNOLÓGICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

ACTA DE SUSTENTACION DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: 06 mayo de 2022

HORA: 04:00 P.M.

LUGAR: CUCUTA, NORTE DE SANTANDER

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA BIOTECNOLÓGICA

TITULO: "EL ROL DE LUZ EN LA SÍNTESIS DE FICOCIANINAS Y SUSTANCIAS EXOPOLIMERICAS EN CIANOBACTERIAS".

MODALIDAD: MONOGRAFIA

JURADO: GERMAN RICARDO GELVES ZAMBRANO
HEBERTH MILTON MOJICA SANCHEZ
JUAN CARLOS RAMIREZ BERMUDEZ

ENTIDAD: UFPS.

DIRECTOR: ANDRES FERNANDO BARAJAS SOLANO

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTE	CODIGO	CALIFICACION
Mairet Celeste Vega Muñoz	1611094	4.7
Jorman Stifen Castro Gonzalez	1611029	4.7

OBSERVACIONES: MERITORIA.

FIRMA DE LOS JURADOS



German Ricardo Gelves Zambrano

Heberth Milton Mojica Sanchez

Juan Carlos Ramirez Bermúdez



Vo. Bo Coordinador Comité Curricular _____

AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a Dios por protegernos y darnos la oportunidad de completar satisfactoriamente esta etapa, porque los resultados obtenidos de acuerdo a las metas propuestas sirven de base para entender el campo laboral.

De la misma manera, agradecemos a nuestros padres por su apoyo y arduo trabajo en cada paso de nuestra carrera universitaria, son una fuente de inspiración para ayudarnos en tiempos difíciles.

También queremos agradecer a nuestro supervisor Andrés Fernando Barajas Solano por su apoyo incondicional, dedicación y apoyo, y por guiarnos en este camino sin su ayuda, es imposible llevar a cabo este proyecto.

Este logro se lo debemos a usted

Mairet Celeste Vega Muñoz

Jorman Stifen Castro

Contenido

	PÁGINA
Introducción	10
1. Delimitacion del ejercicio de investigacion	11
1.1. Planteamiento del problema	11
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Justificación	12
1.4. Objetivos	13
1.4.1. Objetivo General	13
Identificar el rol de luz en la síntesis de ficocianinas y sustancias exopolimericas en cianobacterias.	13
1.4.2. Objetivos específicos	13
2. Marco referencial	14
2.1. Antecedentes	14
2.2. Marco teorico	15
2.3. Marco conceptual	17
2.3.1. Fotobiorreactor	17
2.3.2. Cianobacterias	18
2.3.3. Extracción de metabolitos	18

2.3.4. Parámetros	18
2.3.5. Cepa	18
3. Metodología	18
3.1 Análisis bibliométrico	19
3.2 Metabolitos principales de <i>Botryococcus braunii</i> y su aplicación industrial.	19
4. Resultados	19
Impacto de diversos tipos de luz en la síntesis de ficocianinas y sustancias exopoliméricas en la publicación de artículos científicos.	19
Industrias que pueden aprovechar las ficocianinas y material exopolimérico	27
Conclusiones	30
Referencia bibliográfica	31

Lista de tablas

Tabla 1. Especies mas estudiadas para producir ficocianinas	25
Tabla 2. Medio de cultivo, la fuente de n y c	26

Lista de figuras

- Figura 1** Registros encontrados sobre “phycocyanin” y “cyanobacteria” por fecha (1a) y por país (1b) 20
- Figura 2** Registros encontrados sobre “cyanobacteria” y “exopolysaccharide” por fecha (2a) y por país (2b). 22
- Figura 3** Análisis de redes de co-ocurrencia de palabras clave con cinco tonalidades (Rojo 303, verde 295, azul 209, amarillo 123 y purpura 2) 23
- Figura 4** Análisis de redes de co-ocurrencia de palabras clave con seis tonalidades (Rojo 51, verde 44, azul 41, amarillo 39, purpura 37 y celeste 60) 24

Introducción

Las cianobacterias son microorganismos procariotas, aeróbicos y fotoautótrofos (Roset et al., 2001). Están se adaptan a distintos entornos con gran facilidad y son los especímenes más antiguos de la Tierra (aprox 3500 millones de años). Las ficobiliproteínas son complejos proteicos solubles en agua y muy fluorescentes estas tienen una gran influencia en la captación de la luz para la fotosíntesis; Fueron las primeras proteínas aisladas como compuestos puros (Velazquez et al., 2011). Debido a su coloración brillante, abundancia en células, solubilidad en agua y aislamiento relativamente fácil, se volvieron objetos favorables para química de proteínas (Stadnichuk et al., 2015). Existen 2 tipos principales una de estas es la Ficocianina. La composición y proporción en que ésta se encuentren, varía según el organismo en que estén presentes; así que habrá unas algas o cianobacterias que contengan más C-PC, PE, A-PC. y otras que tendrán menos (Ghosh et al., 2015). Algunos de los más relevantes y principales usos que se tienen para las PBP son los siguientes: Alimentos y Cosméticos (como colorantes y antioxidantes), Histoquímica, Microscopía fluorescente, Nutraceuticos, Medicina (terapia fotodinámica en cáncer), etc. (Stengel et al., 2015).

Las Ficocianinas son de color azul oscuro; y son muy importantes en la fotosíntesis (Rivas et al., 2012) En los procesos biotecnológicos de microalgas, la etapa posterior puede representar entre el 50% y el 80% de los costos totales de producción, según las características bioquímicas del compuesto y la relación de pureza que se necesita alcanzar (Grima et al., 2003). Además, también existen condiciones como la temperatura, pH, humedad, tiempos, y otras (Cuellar et al., 2015) que pueden afectar a la extracción de cierto tipo de PBP como la PC (Chaiklahan et al., 2012).

1. Delimitación del ejercicio de investigación

Delimitación Espacial

Se realizará de manera virtual con la ayuda de las diversas plataformas virtuales y los dispositivos necesarios tales como celulares y computadores. En los municipios de Cúcuta y Villa del Rosario de Norte de Santander- Colombia.

Delimitación Temporal

La presente monografía tendrá una duración aproximada de 4 meses a partir de su aprobación.

Delimitación Conceptual

Ficobiliproteínas (PBP), Cianobacterias, Ficocianinas.

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad es muy bien sabido que el principal género empleado en cuanto a la producción de ficocianinas es *Arthrospira sp*, no obstante, últimamente ha despertado interés y relevancia como productores de este tipo de metabolitos los géneros como *Oscillatoria*. Sin embargo, la información sobre la calidad y cantidad de luz es muy escasa.

Oscillatoria sp es una cianobacteria filamentosa no ramificada, es común en aguas dulces, incluidas en aguas termales (Andrea Castro et al., 2013). Las cianobacterias son microorganismos que poseen un gran interés en el campo de la biotecnología debido a su alto valor nutricional y productos farmacéuticos debido a que son procariotas fotosintéticos con gran variación morfológica y fisiológica en el cual pueden adaptarse a diversos tipos de ambientes, variaciones de temperatura, humedad, salinidad, luz y pH. El papel de la luz es muy importante a la hora de producir PBP ya que es capaz de

maximizar su absorción cuando se expone a factores externos como composición iónica y el cambio de pH. Al someter la cianobacteria a diferentes espectros de luz esta misma comenzara a producir una determinada ficobiliproteína, con el uso de luz verde se aumenta la producción de ficoeritrina y en el caso de ficocianina se usa el color rojo (Fernandez et al., 1997).

Algo a tener en cuenta usando diversos tipos de luz(colores) es la cantidad de luz necesaria para cada proceso ya que irradiar el cultivo con altas cantidades de luz aumenta el crecimiento de biomasa y las bajas cantidades de luz aumenta la producción de PBP.

1.2.Formulación del problema

¿Cómo el ciclo de luz y oscuridad y el tipo de luz afectan en la deposición de ficocianinas en cianobacterias filamentosas? ¿Cómo la luz afecta la producción de ficocianinas y como se puede optimizar esta variable?

1.3.Justificación

Las ficobiliproteínas son colorantes naturales producidos con el uso de cianobacterias filamentosas, estas son utilizadas en las industrias alimentaria y cosmética; además de poseer efectos terapéuticos (Liliana Ramirez Moreno et al., 2006). Una de estas ficobiliproteínas es la ficocianina, esta es un estimulante del sistema inmune, llegando a proteger los organismos de cierta variedad de enfermedades como el cáncer, en Japón se llegó a experimentar usando ratones diagnosticados con cáncer de hígado, donde los resultados demostraron que el extracto de ficocianina en la dieta aumenta su supervivencia (Miguel G. Guerrero et al., 2019).

También es un pigmento ficobilínico de color azul libre de metal con una cromoproteína enlazada a las algas azules verdosas en donde la principal cianobacteria usada para la

producción de dicho pigmento es la *Spirulina máxima*; estos son microorganismos unicelulares y fotoautótrofos, algas fotosintéticas de color verde azuladas compuestas de algunos minerales como potasio, calcio, zinc, fósforo, entre otros (Bautista et al., 2017).

Estas cianobacterias crecen tanto en aguas saladas como en arroyos y agua dulce, se han encontrado en África, Asia y Latino América, donde es muy consumida debido a los diferentes beneficios que posee para el organismo (Bonilla et al, 2009).

Para su fotosíntesis necesita una gran cantidad de luz, esta condición está directamente relacionada con el aumento de su crecimiento, partiendo del hecho que la luz es una fuente primaria de energía para estas cianobacterias, si la intensidad de la luz aumenta la cantidad de proteínas y lípidos totales disminuye de gran manera esto debido a que a esta condición favorece el aumento de biomasa y por ende el consumo de estos (Martinez et al., 2019).

Un caso contrario es lo que sucede al disminuir la longitud de onda, puesto que genera una gran cantidad de ficocianinas a este requisito. Debido a lo anterior se realizó una exhaustiva búsqueda de información la cual tiene como prioridad analizar los tipos de fuente de luz relacionados con la producción ficocianina.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Identificar el rol de luz en la síntesis de ficocianinas y sustancias exopoliméricas en cianobacterias.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar el impacto de diversos tipos de luz en la síntesis de ficocianinas y sustancias exopoliméricas en la publicación de artículos científicos.

- Determinar las principales condiciones de cultivo reportados en artículos científicos.
- Identificar las industrias que pueden aprovechar las ficocianinas y material.

2. Marco referencial

2.1. Antecedentes

El Anteproyecto actual “EVALUACIÓN DE LA FUENTE DE LUZ Y SU CICLO EN LA PRODUCCIÓN DE FICOCIANINAS (C-PC, APC, PE) Y EPS EN *Oscillatoria* sp (OSCI001_UFPS)” se apoya en los precedentes de los diferentes autores que se encuentran citados en los siguientes párrafos. Según el autor Ming Hsieh-Lo (2019), la ficocianina son pigmentos fotosintéticos extraídos a partir de Microalgas con gran potencial debido a sus colores intensos. Sin embargo, las algas tienen un contenido de clorofila y ficobilisomas para la absorción de energía de la luz. En la tasa de crecimiento de las Microalgas se puede mejorar mediante el aumento de la densidad hasta su punto de saturación de la luz. Donde su temperatura óptima para el cultivo de Microalgas depende de la especie y la cepa. Las cianobacterias y las algas rojas carecen de clorofila donde absorben las luces principalmente de la región azul y roja del espectro visible debido a la clorofila. (PSC Schulze Aug.2014). Dentro de la ficocianina y la ficoeritrina son utilizadas en la industria alimenticia y farmacéutica para que sus colores y propiedades de valor añadido (por ejemplo, el potencial biológico) (CMLL Teixeira Feb, 2018)

En el cual las microalgas pueden cultivarse en sistemas abiertos como en sistemas cerrados (fotobiorreactores PBR) donde los sistemas abiertos son de bajo costo y fácil de operar, sin

embargo, tiene algunas desventajas como un alto riesgo de contaminación y mala iluminación.

2.2.Marco teorico

Colorantes: El empleo de las algas rojas y cianobacterias para las PBP (ficoeritrina, diferentes ficocianinas y aloficocianinas) como colorantes naturales para la industria cosmética, alimentaria, textil (no existen resultados reproductibles para usarlo en industria textil) y como marcadores fluorescentes en la investigación biomédica representa una larga tradición. Los estudios sobre los colorantes naturales a partir de algas representan una nueva tendencia en todas las industrias, pero no existen todavía resultados reproductibles en la industria textil. (Maldovan et al., 2016)

Farmacéutica: estudios sobre PC adecuado para uso médico han sido muy exitosos, pues tienen propiedades farmacéuticas, y es que esto viene desde que en el Oriente tienen muchos plastos a base de algas los cuáles han traído muchos beneficios a dicha población. Un estudio fundamenta la obtención de ficoeritrina a partir de algas rojas como *Porphyridium cruentum*, para utilizarla en la conjugación a moléculas proteicas, como pueden ser los anticuerpos murinos, de gran utilidad como reactivo revelador en diversos inmunoensayos para el diagnóstico (García et al., 2017).

Antioxidante: Ensayos de quimioluminiscencia demostraron la acción secuestradora de la C-PC sobre los radicales alcoxilos e hidroxilos, además de la inhibición de hidrocloreuro 2,2' azobis 2- amidinopropano (HAAP), un iniciador de la formación de radicales libres y de la peroxidación lipídica; y otro ensayo demostró que también puede ser un inhibidor selectivo de la ciclooxigenasa-2 (Marín et al., 2015). La C-PC ayuda a eliminar radicales libres de

peroxiloalcoxilo, e hidroxilo, y también inhibe la peroxidación de lípido y daños al ADN (Ghost et al, 2015). Los resultados de un estudio a ratones sobredosificados con kanamicina sugieren la posibilidad de usar C-PC para acelerar la regeneración de tejido renal después de daño inducido por aminoglucósidos (Nuñez et al.; 2012)

Antiinflamatorio: Estudios realizados en ratones tratados intratraquealmente con lipopolisacárido (LPS), la C-PC administrada luego de 3 horas, pudo disminuir en sus pulmones lo niveles de citosinas proinflamatorias y de las quimiocinas de especies reactivas del oxígeno y nitrógeno (Marín-Prida et al., 2015). Otro estudio muestra que C-PC puede actuar como un neuroprotector y, por lo tanto, revertir el daño orgánico y funcional en los trastornos neurodegenerativos del sistema nervioso central (SNC) (Pentón-Rol et al.; 2011)

Farmacia: En la actualidad se está generalizando el uso de compuestos funcionales provenientes de algas marinas como complementos dietéticos beneficiosos para la salud. Por el contrario, la aplicación de metabolitos derivados de algas en la piel ha recibido mucha menos atención a pesar de que poseen un elevado potencial por sus propiedades antiinfecciosas, antiinflamatorias, antienvjecimiento y en la prevención de patologías cancerígenas de la piel. (Roldán, 2018). Además, los compuestos fenólicos que hacen parte de sus metabolitos secundarios biosintéticos no participan en el ciclo biológico del alga, tienen un amplio espectro de bioactividad beneficiosa como anticancerígena, antioxidante, antimicrobiana y antiinflamatoria. (Menegol et al., 2017)

Cosmética: Empresas están extrayendo ficobiliproteínas para luego ser vendidas a otras industrias para así éstas elaborar productos cosméticos saludables (Dasgupta et al., 2015).

Biomarcadores: El uso más extenso de los pigmentos de algas ha sido en el diagnóstico como etiquetas fluorescentes o "sondas de Ficofluor". Las tres PBP sirven como valiosas etiquetas fluorescentes con numerosas aplicaciones en citometría de flujo, clasificación de células activadas por fluorescencia, histoquímica y hasta un grado limitado en inmunoensayos y detección de especies reactivas de oxígeno. Lo que sucede es que cuando los ficobilisomas se extraen en tampones acuosos, se desintegran y las ficobiliproteínas pierden sus aceptadores naturales de energía de excitación y se vuelven altamente fluorescentes. La PE es muy utilizada como colorante alimentario y cosmético, ya que tiene propiedades físicas ventajosas que la hacen adecuada para aplicaciones en investigación clínica y biología molecular (Cuellar et al., 2015)

Actualmente existe gran variedad de métodos que han sido experimentados con el fin extraer la mejor cantidad y pureza de Ficocianinas; muchos incluso combinan un tipo de extracción con otra para hacerla más eficiente; y lo mismo sucede por el lado de la purificación, que es el paso siguiente al extraerlas.

En el siguiente cuadro se mostrarán varias referencias bibliográficas en que han sido llevado a cabo procedimientos para extraer y purificar Ficocianinas de distintas cepas de cianobacterias, siendo el género *Spirulina* la más usada.

2.3.Marco conceptual

2.3.1. Fotobiorreactor

Una foto biorreactor es un equipo en el cual se cultivan microalgas y cianobacterias, con el que es posible controlar los parámetros relevantes para su crecimiento y producción de

metabolitos; normalmente se controlan temperatura, Ph, intensidad de luz, y agitación; generando así un ambiente adecuado para éstas.

2.3.2. Cianobacterias

También llamadas algas azul verdosas que poseen características de algas y de bacterias a la vez; son microorganismos capaces de hacer fotosíntesis mediante mecanismos diferentes al de las plantas; y suelen encontrarse en aguas con alta cantidad de nutrientes, además que mediante ellas se pueden conseguir grandes beneficios para el ser humano.

2.3.3. Extracción de metabolitos

La extracción de metabolitos es un proceso detallado que se lleva a cabo con el fin de extraer un producto de interés de algún organismo o parte de un organismo, usando distintos equipos y métodos para dicho objetivo.

2.3.4. Parámetros

Un parámetro es un dato o un modelo de la realidad que se comparan los datos reales obtenidos y que permite predecir.

2.3.5. Cepa

Es un conjunto de células que tienen, al menos, una característica de una especie de una bacteria, se usar para propagar clones de la especie.

3. Metodología

3.1 Análisis bibliométrico

Para realizar el análisis bibliométrico se empleó la base de datos SCOPUS mediante una búsqueda restringida con los siguientes parámetros: TITLE-ABS-KEY (phycocyanin AND cyanobacteria) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2000 - 2022) y TITLE-ABS-KEY (cyanobacteria AND exopolysaccharide) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2000 - 2022)

Para el análisis de co-ocurrencia de palabras claves se empleó el software VOSviewer (www.vosviewer.com). Se elaboró el análisis de co-ocurrencia para recopilar las palabras claves más utilizadas relacionadas con la temática de la monografía.

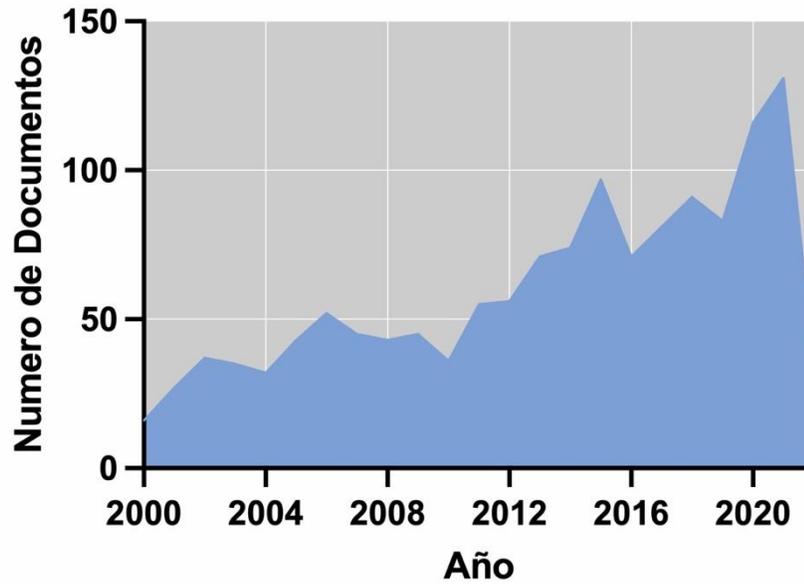
3.2 Metabolitos principales de *Botryococcus braunii* y su aplicación industrial.

Con base en los resultados de co-ocurrencia de las palabras claves, se realizó la búsqueda de información en diferentes artículos científicos relacionados con el impacto industrial de diferentes cianobacterias y el uso de ficocianinas y exopolisacaridos.

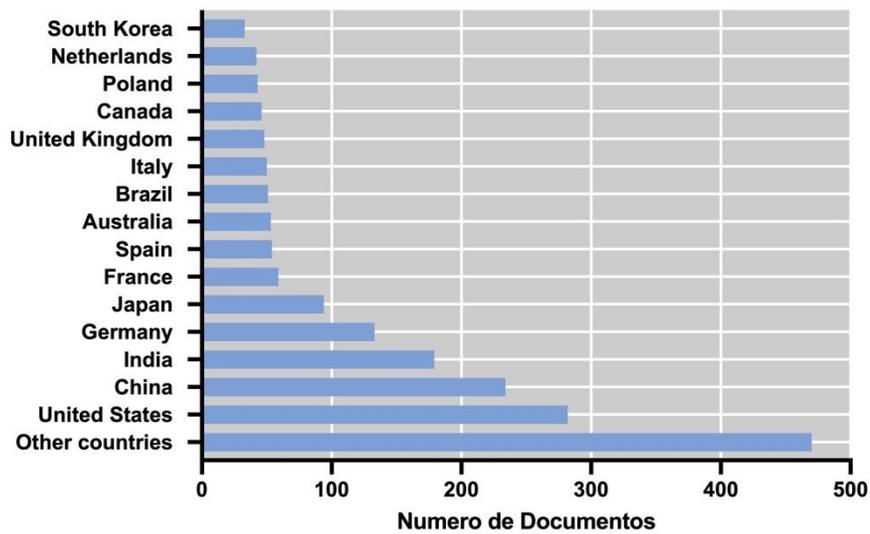
4. Resultados

Impacto de diversos tipos de luz en la síntesis de ficocianinas y sustancias exopoliméricas en la publicación de artículos científicos.

De acuerdo con una búsqueda sectorizada para las palabras clave “*phycocyanin*” y “*cyanobacteria*” en SCOPUS se han publicado 1372 documentos hasta la fecha (figura 1a), donde los principales países donde se registra esta producción científica son Estados Unidos (282), China (234), India (179), Alemania (133) y otros (figura 1b).



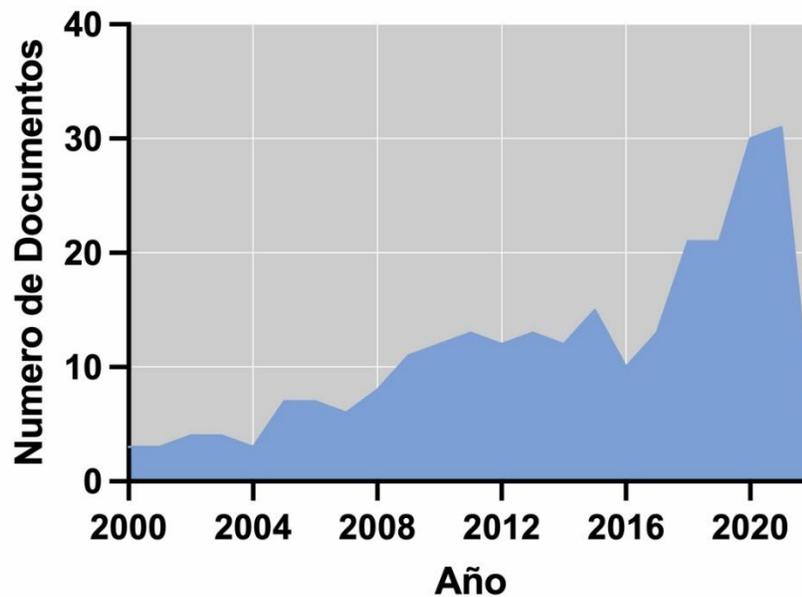
a. Documentos registrados sobre “*phycocyanin*” y “*cyanobacteria*” hasta la fecha (2000-2020)



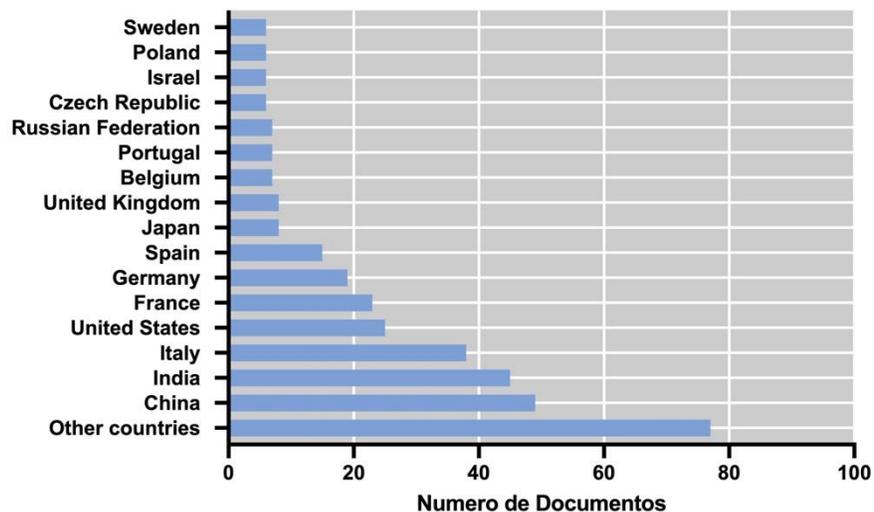
b. Registro de producción científica por país

Figura 1 Registros encontrados sobre “*phycocyanin*” y “*cyanobacteria*” por fecha (1a) y por país (1b)

En el caso de las palabras clave “*cyanobacteria*” y “*exopolysaccharide*” se obtuvieron un total de 264 documentos publicados en los últimos 22 años (figura 2a); además los principales países donde se generan estas publicaciones son China (49), India (45), Italia (38), Estados Unidos (25) y otros (figura 2b).



a. Documentos registrados sobre “*cyanobacteria*” y “*exopolysaccharide*” hasta la fecha (2000-2020)



b. Registro de producción científica por país

Figura 2 Registros encontrados sobre “cyanobacteria” y “exopolysaccharide” por fecha (2a) y por país (2b).

El análisis de co-ocurrencia para la búsqueda empleando “phycocyanin” y “cyanobacteria” permitió obtener 932 palabras clave separadas en 5 cluster: Rojo (303), verde (295), azul (209), amarillo (123) y purpura (2). (figura 3). De acuerdo con este análisis de co-ocurrencia permite suministrar una perspectiva general en la literatura científica con las palabras *phycocyanin* y *cyanobacteria*, se examinó la co-ocurrencia de las palabras clave. Cada círculo simboliza una palabra clave y el tamaño respectivo refleja el número de ocurrencias.

De los resultados alcanzados, se encontraron 932 elementos relevantes y analizados en la red de co-ocurrencia de palabras clave, los cuales fueron ordenados en con 5 colores, los cuales están relacionados con los 5 campos relacionados con las aplicaciones de *phycocyanin* y *cyanobacteria*

En la tonalidad verde se encuentran palabras como Química, proteínas bacterianas, Transferencia de energía, Metabolismo, Mutación, Alga roja entre otras. En la tonalidad violeta al mencionarse tan pocas palabras estas son poco visibles en la figura. En la tonalidad azul están las palabras Microbiología, Toxina, Cianoginosina, Purificación de agua, la tonalidad amarilla tiene palabras como, Taxonomía, identificación bacteriana, ADN, Modelo estadístico entre otras, en la tonalidad roja se encuentran algunas palabras como actividad antioxidante, agente anti inflamatorio, enzima.

Tabla 1. Especies más estudiadas para producir ficocianinas

Especies	Iluminacion	Productividad	Referencia
<i>Thermosynechococcus</i> <i>sp</i>	LED ROJA 500 y 1000 $\mu\text{mole m}^{-2} \text{s}^{-1}$	3324 $\text{mg L}^{-1}\text{día}^{-1}$	(Hoi, Winayu, Hsueh, & Chu et al., 2021)
<i>Synechococcus sp</i>	Luz Roja	(5,11 $\text{gVS} \cdot \text{L}^{-1}$)	(Anna Klepacz-Smółka D. P et al., 2020)
<i>Spirulina platensis</i>	LEDs blancos	(101,1 mg/L/d)	(Shih-Hsin Ho et al., 2018)
<i>Spirulina sp</i>	LEDS rojo	(1,77 \pm 0,02 g L^{-1})	(Denise da Fontoura Prates E. M et al., 2018)
<i>Cyanobium sp</i>	Leds rojo	137,4 \pm 0,8 $\text{mg L}^{-1} \text{d}^{-1}$	(Fernando Pagels et al, 2020)
<i>Spirulina platensis</i>	Leds amarillo Leds azul	750-1500 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 3000 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	(Hua-Bing Chen et al, 2010)
<i>Arthrospira maxima</i>	Leds azul	13,63-18,97 $\text{gDWm}^{-2} \text{d}^{-1}$	(D.A. García-López et al., 2020)
<i>Synechococcus</i>	Luz roja	5,11 $\text{gVS} \cdot \text{L}^{-1}$	(Anna Klepacz-Smółka D. P et al., 2020)
<i>Spirulina platensis</i>	Luz blanca	101,1 mg/L/d	(Shih-Hsin Hoa et al., 2018)
<i>Spirulina sp</i>	Luz roja	1,77 \pm 0,02 g L^{-1}	(Denise da Fontoura Prates J. H et al., 2018)

<i>Arthrospira platensis</i>	Luz mixta roja y azul	161,53 mg L ⁻¹ kW ⁻¹ h ⁻¹	(Ruixin Mao et al., 2018)
<i>Arthrospira platensis</i>	Leds roja	30,89 y 30,69 mg l ⁻¹ día ⁻¹	(Markou et al., 2014)
<i>Spirulina platensis</i>	Leds roja	0,39/día, 0,10 g/l/día y 0,14 g/g-célula/día	(Sung-Kun Yim et al., 2016)

Tabla 2. Medio de cultivo, la fuente de N y C

Cepa	Medio de cultivo	fuelle de N y C	Tipo de reactor	Tiempo de cultivo	Referencia
<i>Thermosynechococcus sp</i>	Su y Chu	Nitrógeno	Plano de 25 L	12 horas	(Soi Keong Hoy et al., 2021)
<i>Synechococcus pcc</i>	BG11 estéril a 45°C	Carbono inorgánico	Tubular	2 semanas (16 h día/8h noche)	(Anna Klepacz-Smółka D. P et al., 2020)
<i>Spirulina platensis</i>	Zarrouk	carbono disuelto	Plano	20 horas	(Shih-Hsin Ho et al., 2018)
<i>Spirulina</i>	Zarrouk	Carbono	vertical acrílico cerrado	10 días	(Denise da Fontoura Prates E. M et al., 2018)
<i>Arthrospira platensis</i>	Zarrouk	carbono	cerrados	16 días	(Youping Xie et al., 2015)

<i>Spirulina</i> (<i>Arthrospira</i>) <i>platensis</i>	Zarrouk	carbono	abierto	18 horas	(Jitendra Mehar et al., 2019)
<i>Arthrospira platensis</i>	Zarrouk	carbono	cilíndrico	23 horas (luz)/1 h (oscuridad).	(Guo et al., 2018)
<i>Arthrospira platensis</i>	Zarrouk	carbono y nitrógeno	cilíndricos cerrados	2 días	(Markou et al., 2013)

Industrias que pueden aprovechar las ficocianinas y material exopolimerico

Las ficobiliproteínas son proteínas solubles en agua, que funcionan como pigmentos fotosintéticos, la ficocianina es una de estas proteínas y pueden ser producidas en diferentes organismos tales como algas rojas y cianobacterias (Domínguez, G. D et al, 2016)

Uno de los usos principales de la ficocianina es su implementación como colorante natural en la industria alimenticia.

Junto con la industria alimenticia existes otras las cuales pueden aprovechar las ficocianinas, entre estas se encuentra la industria farmacológica y medica

Esto último debido a que la proteína denominada C-ficocianina ha sido empleada en diversas investigaciones biomédicas debido a que sus propiedades fluorescentes le permiten usarse como biomarcador (Bhat VB et al, 2000) (Ou Y et al 2010). También las ficocianinas tienen

propiedades antioxidantes, antiinflamatorias e inmunomoduladores esto le puede permitir realizar la función de un posible agente terapéutico en el tratamiento de padecimientos relacionados con el estrés oxidativo (Pentón G et al, 2011).

La tendencia temporal creciente del número de nuevas empresas de producción de algas creadas desde 1926 muestra tanto la dinámica como el potencial de crecimiento del sector. Esta tendencia debe analizarse críticamente, ya que muchas otras empresas han cerrado o desviado sus actividades a lo largo de los años.

El potencial de la producción de biomasa ha resaltado como una actividad económica sostenible en el panorama de la bioindustria europea (Buschmann et al., 2017; Hasselström et al., 2018). No obstante se presentan algunas limitaciones como el: el pequeño tamaño del mercado para los productos básicos de las algas en Europa, la variabilidad del suministro anual de biomasa, el estado actual de desarrollo tecnológico desarrollo tecnológico en la producción y el procesamiento de la biomasa.

Los esfuerzos actuales para aumentar la producción industrial de algas marinas se han enfocado en la ejecución de estrategias de cultivo eficientes y en el desarrollo de tecnologías para optimizar la producción y el despliegue de cultivos, la cosecha de biomasa y la logística de manipulación de los mismos (Peteiro et al., 2019; Stévant, 2019; Goecke et al., 2020). Para una mejora en la sostenibilidad económica es imprescindible: La innovación en la automatización de los procesos durante la siembra, el seguimiento de la biomasa, la cosecha y el procesamiento. Lo más avanzado en este campo incluyen la evaluación automatizada de la densidad de la biomasa en los sistemas terrestres mediante imágenes de reflectancia espectral (Praeger et al., 2020)

La espirulina es conocida su alto contenido en proteínas y compuestos antioxidantes; es empleada para la extracción de pigmentos como la ficocianina, un pigmento fotosintético azul que se utiliza en aplicaciones sanitarias, cosméticas y alimentarias (Mobin y Alam, 2017). Por otro lado, *Dunaliella salina* es una excelente fuente natural del antioxidante β -caroteno (Borowitzka, 1999; Mobin y Alam, 2017; Costa et al., 2019). Mientras que *Porphyridium sp.* se utiliza para la extracción de exopolisacáridos y pigmentos (ficoeritrina).

Conclusiones

Esta recopilación bibliográfica aporta información para profundizar en el impacto de metabolitos de interés industrial sobre ficobiliproteínas de microalgas y análisis bibliométricos, así como para identificar cepas productoras de estos metabolitos.

En general, las microalgas y cianobacterias productoras de ficocianinas tienen un potencial para la producción industrial de metabolitos industriales como *S. máxima*, proteínas y enzima lactosa, que son de gran interés comercial en grandes industrias farmacéuticas, textil.

Referencia bibliográfica

- Abalde, J., Betancourt, L., Torres, E., Cid, A., & Barwell, C. (1998). Purification and characterization of phycocyanin from the marine cyanobacterium *Synechococcus* sp. IO9201. *Plant Science*, 136(1), 109-120.
- Andersen, R. A., Berges, J. A., Harrison, P. J., & Watanabe, M. M. Appendix A—Recipes for Freshwater and 406 Seawater Media. *Algal Culturing Techniques*, 406, 429-538.
- Arzuaga, Alexey. (2015). La c-ficocianina: métodos de obtención y propiedades farmacológicas. *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*. 1. 29-43.
- Bacarizo Roa, J. L. (2013). Cambios conformacionales de la B-Ficoeritrina de *Porphyridium Cruentum* en función del Ph.
- Baldia, S. F. (1991). Effects of physico-chemical factors and nutrients on the growth of *Spirulina platensis* isolated from Lake Kojima, Japan. *日本水産学会誌*, 57(3), 481-490.
- Basaca A. (2010). Evaluación de las propiedades fluorescentes e interfaciales de la proteína B-Ficoeritrina purificada de la microalga roja (*Rhodospirillum rubrum*).
- Bennett A., Bogorad, L., 1973, Complementary chromatic adaptation in a filamentous blue-green alga. *J. Cell Biol.* 58, 419–435.
- Bermejo, R., Tobaruela, D. J., Talavera, E. M., Orte, A., & Alvarez-Pez, J. M. (2003). Fluorescent behavior of B-phycoerythrin in microemulsions of aerosol OT/water/isooctane. *Journal of Colloid and Interface Science*, 263(2), 616–624.

- Bermúdez-Sierra, J. J., Oliveira-Leite, M., Reis-Coimbra, J. S., & Aredes-Martins, M. (2013). Desempeño de dos técnicas de rompimiento celular en la caracterización de ficobiliproteínas en la microalga *scenedesmus sp.* *Revista Tumbaga*, 2(8), 65-80.
- Betancourt Fernández, L. (1997). Producción, purificación y caracterización de la ficocianina de " *Synechococcus sp. IO9201*" aislada en aguas de Cuba.
- Bezerra, R. P., Montoya, E. Y. O., Sato, S., Perego, P., de Carvalho, J. C. M., & Converti, A. (2011). Effects of light intensity and dilution rate on the semicontinuous cultivation of *Arthrospira (Spirulina) platensis*. A kinetic Monod-type approach. *Bioresource technology*, 102(3), 3215-3219.
- Bhaskar, S. U., Gopaldaswamy, G., & Raghu, R. (2005). A simple method for efficient extraction and purification of C-phycoyanin from *Spirulina platensis* Geitler.
- Bhat VB, Madyastha KM (2000) C-Phycocyanin: A Potent Peroxyl Radical Scavenger in Vivo and in Vitro. *Biochem Biophys Res Comm*
- Borowitzka, M. A. (1999). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, and fermenters. In *Progress in industrial microbiology* (Vol. 35, pp. 313-321). Elsevier.
- Bunster, M., Tellez, J., & Candia, A. (1997). Characterization of phycobiliproteins present in *Gracilaria chilensis*. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 42(4), 449-455.
- Cabranes, Y., Lagomasino, J., & Lagomasino, A. (1998). Aislamiento, purificación y caracterización parcial de la C-ficocianina-620 obtenida a partir de la *Spirulina platensis*. Trabajo de Diploma, Facultad de Biología. Universidad de la Habana.

- Cairampoma, M. R. (2015). Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación. *Redvet. Revista electrónica de veterinaria*, 16(1), 1-14.
- Chaiklahan, R., Chirasuwan, N., & Bunnag, B. (2012). Stability of phycocyanin extracted from *Spirulina* sp.: influence of temperature, pH and preservatives. *Process Biochemistry*, 47(4), 659-664.
- Chen, C. Y., Kao, P. C., Tsai, C. J., Lee, D. J., & Chang, J. S. (2013). Engineering strategies for simultaneous enhancement of C-phycocyanin production and CO₂ fixation with *Spirulina platensis*. *Bioresource technology*, 145, 307-312.
- Cuellar-Bermudez, S. P., Aguilar-Hernandez, I., Cardenas-Chavez, D. L., Ornelas-Soto, N., Romero-Ogawa, M. A., & Parra-Saldivar, R. (2015). Extraction and purification of high-value metabolites from microalgae: essential lipids, astaxanthin and phycobiliproteins. *Microbial biotechnology*, 8(2), 190-209.
- D.C. Kalyani, A.A. Telke, R.S. Dhanve, J.P. Jadhav, "Ecofriendly biodegradation and detoxification of Reactive Red 2 textile dye by newly isolated *Pseudomonas* sp. SUK1", *Journal Hazard Materials*, 163(2-3), 735-742, 2009.
- Dasgupta, C. N. (2015). Algae as a source of phycocyanin and other industrially important pigments. In *Algal Biorefinery: An Integrated Approach* (pp. 253-276). Springer, Cham.
- Dayananda, C., Sarada, R., Rani, M. U., Shamala, T. R., & Ravishankar, G. A. (2007). Autotrophic cultivation of *Botryococcus braunii* for the production of hydrocarbons and exopolysaccharides in various media. *Biomass and Bioenergy*, 31(1), 87-93.

- De Philippis, R., & Vincenzini, M. (1998). Exocellular polysaccharides from cyanobacteria and their possible applications. *FEMS Microbiology Reviews*, 22(3), 151-175.
- Derner, R. B., Ohse, S., Villela, M., Carvalho, S. M. D., & Fett, R. (2006). Microalgae, products and applications. *Ciência Rural*, 36(6), 1959-1967.
- Dhankani, K. C., & Pearce, J. M. (2017). Open source laboratory sample rotator mixer and shaker. *HardwareX*, 1, 1-12.
- Doke, J. (2005). An Improved and Efficient Method for the Extraction of Phycocyanin from *Spirulina* sp. *International Journal of Food Engineering*, 1(5).
- Domínguez, G. D., Suárez, V. M., & del Valle Pérez, L. O. (2016). Principales propiedades inmunomoduladoras y antiinflamatorias de la ficobiliproteína C-ficocianina. *Revista cubana de hematología, inmunología y hemoterapia*, 32(4).
- E. Angulo, G. Castellar, E. Morales, M. Barrios, "Remoción de azul de metileno por la microalga *Chlorella* sp. viva", *Prospect*, 10(1), 53-60, 2012
- Eriksen, N. T. (2008). Production of phycocyanin—a pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine. *Applied microbiology and biotechnology*, 80(1), 1-14.
- Felipe, M. A., & Bermejo, R. (2006). Obtención de biliproteínas de interés biotecnológico industrial mediante cromatografía de adsorción en lecho expandido. *Iniciación a la investigación*, (1), 21.

- Forbes, T., García, M. A., Alarcón, J. I., & Armas, E. (2017). Empleo de ficocianina como colorante natural en la Industria Alimentaria. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 23(1).
- Fuenmayor, G., Jonte, L., Rosales Loaiza, N., & Morales, E. (2009). Efecto de la salinidad y la concentración de nutrientes sobre el crecimiento y composición bioquímica de la cianobacteria autóctona *Oscillatoria* sp. MOF-06. *Ciencia*, 17(1).
- García, M., & del Carmen, L. (2016). Estudio de la estabilidad de C-Ficocianina.
- García-González, M., Moreno, J., Manzano, J. C., Florencio, F. J., & Guerrero, M. G. (2005). Production of *Dunaliella* salina biomass rich in 9-cis- β -carotene and lutein in a closed tubular photobioreactor. *Journal of biotechnology*, 115(1), 81-90.
- García-Reyesll, L. (2017). Obtención de β -Ficoeritrina y su uso en la conjugación de anticuerpos murinos. *Rev. Cubana Quím*, 29(2).
- García-Vizcaíno, L. (2019). Caracterización fisicoquímica de proteínas procedentes de microalgas marinas. Aplicación como colorante.
- Ghosh, T., Paliwal, C., Maurya, R., & Mishra, S. (2015). Microalgal rainbow colours for nutraceutical and pharmaceutical applications. In *Plant Biology and Biotechnology* (pp. 777-791). Springer, New Delhi
- Gordillo, F. J., Goutx, M., Figueroa, F. L., & Niell, F. X. (1998). Effects of light intensity, CO₂ and nitrogen supply on lipid class composition of *Dunaliella viridis*. *Journal of applied phycology*, 10(2), 135-144.

- Grima, E. M., Belarbi, E. H., Fernández, F. A., Medina, A. R., & Chisti, Y. (2003). Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnology advances*, 20(7-8), 491-515.
- Hejazi, M. A., & Wijffels, R. H. (2004). Milking of microalgae. *Trends in biotechnology*, 22(4), 189-194.
- Horváth, H., Kovács, A. W., Riddick, C., & Présing, M. (2013). Extraction methods for phycocyanin determination in freshwater filamentous cyanobacteria and their application in a shallow lake. *European journal of phycology*, 48(3), 278-286.
- J.C. Akan, F.I. Abdulrahman, J.T. Ayodele, V.C. Cgugbuaja, "Impact of tannery and textile effluent on the chemical characteristics of Challawa River, Kano State Nigeria", *Australian Journal of Basic Applied Sciences*, 3(3), 1933-1947, 2009.
- Jiménez, C., Cossío, B. R., & Niell, F. X. (2003). Relationship between physicochemical variables and productivity in open ponds for the production of *Spirulina*: a predictive model of algal yield. *Aquaculture*, 221(1-4), 331-345.
- Kumar, D., Dhar, D. W., Pabbi, S., Kumar, N., & Walia, S. (2014). Extraction and purification of C-phycocyanin from *Spirulina platensis* (CCC540). *Indian journal of plant physiology*, 19(2), 184-188.
- L. Quintero, S. Cardona, "Tecnologías para la decoloración de tintes índigo e índigo carmín", *Dyna*, 77(162), 371-386, 2010
- LALIBERTÉ G., DE LA NOUE J. J *Phycol* 29: 612-620, 1993.

- Lobatón García, Hugo Fabián, Schwerna, Philipp, & Buchholz, Rainer. (2017). Coproducción de ficocianina y exopolisacáridos en el cultivo de *Arthrospira platensis*. *Idesia (Arica)*, 35(2), 79-86.
- Loreto, C., Fuenmayor, G., Briceño, E., Rosales, N., & Morales, E. (2007). Calidad microbiológica y bioquímica de derivados comerciales de la cianobacteria *Spirulina*. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 41(1).
- Loreto, C., Rosales, N., Bermúdez, J., & Morales, E. (2003). Producción de pigmentos y proteínas de la cianobacteria *Anabaena PCC 7120* en relación a la concentración de nitrógeno e irradiancia. *Gayana. Botánica*, 60(2), 83-89.
- M. Salazar, "Sistemas integrales de tratamiento de aguas residuales, mediante el uso combinado de digestión anaerobia y microalgas", *Contactos*, 73, 16-22, 2009.
- M. Solís, A. Solís, H.I. Pérez, N. Manjarrez, M. Flores, "Microbial decolorization of azo dyes: A review", *Process Biochemistry*, 47(12), 1723-1748, 2012.
- M. Yagub, T. Kanti Sen, F. Afroze, H. Ang, "Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review", *Advances Colloid and Interface Science*, 209, 172-184, 2014.
- Marín-Prida, J., Llópiz-Arzuaga, A., Pavón, N., Pentón-Rol, G., & Pardo-Andreu, G. L. (2015). Aplicaciones de la c-ficocianina: métodos de obtención y propiedades farmacológicas/applications of c-phycoyanin: methods of purification and pharmacological properties. *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 1(1).
- Matsunaga, T., Sudo, H., Takemasa, H., Wachi, Y., & Nakamura, N. (1996). Sulfated extracellular polysaccharide production by the halophilic cyanobacterium

- Aphanocapsa halophytia* immobilized on light-diffusing optical fibers. *Applied microbiology and biotechnology*, 45(1-2), 24-27.
- Maza, L. D. L. Á. R., Guevara, M. Á., Gómez, B. J., Arredondo-Vega, B., Cortez, R., & Licet, B. (2017). Producción de pigmentos procedentes de *Arthrospira maxima* cultivada en fotobiorreactores. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(1), 108-114.
- Menegol, T., Diprat, A. B., Rodrigues, E., & Rech, R. (2017). Effect of temperature and nitrogen concentration on biomass composition of *Heterochlorella luteoviridis*. *Food Science and Technology*, 37(SPE), 28-37.
- Moldovan, S. (2016). Colorantes naturales para fibras textiles a partir de algas.
- Molina, A. (2011). Obtención y Purificación de Ficocianinas mediante cromatografía de adsorción en lecho expandido. Escalado del proceso, caracterización fisicoquímica y aplicación como colorantes naturales. Universidad de Jaén.
- Moraes, C. C., De Medeiros Burkert, J. F., & Kalil, S. J. (2010). C-phycoyanin extraction process for large-scale use. *Journal of food biochemistry*, 34, 133-148.
- MORALES E. Contribución al conocimiento de las condiciones óptimas de crecimiento de *Dunaliella viridis* (chlorophyta: Volvocales) en cultivos de laboratorio (Trabajo de Ascenso). Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), pp 72, 1992.
- Morales, E., Rodríguez, M., García, D., Loreto, C., & Marco, E. (2002). Crecimiento, producción de pigmentos y exopolisacáridos de la cianobacteria *Anabaena* sp. PCC 7120 en función del pH y CO₂. *Interciencia*, 27(7), 373-378.

- Núñez, L. G., Salgueiro, S. R., del Barco Herrera, D. G., Terrero, M. M., Febles, E. S., Frómeta, C. P., ... & Alba, J. S. (2012). La ficocianina acelera la recuperación del tejido renal dañado por sobredosis de kanamicina en roedores. *Acta Microsc*, 21, 147-54
- Ou Y, Zheng S, Lin L, Jiang Q, Yang X. (2010) Protective effect of C-phycoyanin against carbon tetrachloride-induced hepatocyte damage in vitro and in vivo. *Chem Biol Interact*.
- Pagels, F., Guedes, A. C., Amaro, H. M., Kijjoo, A., & Vasconcelos, V. (2019). Phycobiliproteins from cyanobacteria: Chemistry and biotechnological applications. *Biotechnology advances*.
- Paniagua-Michel, J., & Sasson, A. (1995). Moléculas de microalgas de importancia económica. *Manual de Métodos Ficológicos. Concepción, Chile*, 297-310.
- Pan-utai, W., & Iamtham, S. (2018). Physical extraction and extrusion entrapment of C-phycoyanin from *Arthrospira platensis*. *Journal of King Saud University-Science*.
- Patel, A., Mishra, S., Pawar, R., & Ghosh, P. K. (2005). Purification and characterization of C-Phycocyanin from cyanobacterial species of marine and freshwater habitat. *Protein Expression and Purification*, 40(2), 248-255.
- Patil, V., Tran, K. Q., & Gislerød, H. R. (2008). Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International journal of molecular sciences*, 9(7), 1188-1195.
- Pentón G, Marín J, Pardo G, Martínez G, Acosta EF, Valdivia A et al. (2011) C-Phycocyanin is neuroprotective against global cerebral ischemia/reperfusion injury in gerbils. *Brain Res Bull*.

- Pentón-Rol, G., Martínez-Sánchez, G., Cervantes-Llanos, M., Lagumersindez-Denis, N., Acosta-Medina, E. F., Falcón-Cama, V., ... & Marín-Prida, J. (2011). C-Phycocyanin ameliorates experimental autoimmune encephalomyelitis and induces regulatory T cells. *International immunopharmacology*, 11(1), 29-38.
- Pirog, T. P., Grinberg, T. O., & Malashenko Yu, R. (2002). Strategy of obtaining microbial exopolysaccharides possessing stable preset properties. *Mikrobiol. Zh*, 64(3), 81-94.
- Querijero-Palacpac, N. M., Martinez, M. R., & Boussiba, S. (1990). Mass cultivation of the nitrogen-fixing cyanobacterium *Gloeotrichia natans*, indigenous to rice-fields. *Journal of applied phycology*, 2(4), 319-325.
- R. Campos, A. Kandelbauer, K.H. Robra, A. Cavaco-Paulo, G.M. Gu " bitz, "Indigo degradation with purified laccases from *Trametes hirsuta* and *Sclerotium rolfsii* ", *Journal of Biotechnology*, 89, 131-139, 2001.
- Reinhold, L., Kosloff, R., & Kaplan, A. (1991). A model for inorganic carbon fluxes and photosynthesis in cyanobacterial carboxysomes. *Canadian journal of botany*, 69(5), 984-988.
- Rodrigues, R. D. P., de Castro, F. C., de Santiago-Aguiar, R. S., & Rocha, M. V. P. (2018). Ultrasound-assisted extraction of phycobiliproteins from *Spirulina (Arthrospira) platensis* using protic ionic liquids as solvent. *Algal research*, 31, 454-462.
- Roldán, A. R. (2018). Potencial de extractos de algas frente a la radiación UV (Doctoral dissertation, Universidad Complutense)

- Roma, S. (1995). Growth parameters of *Pseudanabaena galeata* Böcher in culture under different light and temperature conditions. *Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes*, 239-248.
- Roset, J., Aguayo, S., & Muñoz, M. J. (2001). Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una revisión. *Revista de Toxicología*, 18(2). 65-71.
- Rücker, J., Kohl, J. G., & Kaiser, K. (1995). Responses of carotenoids and chlorophylls to variations of growth-limiting factors in three filamentous blue-green algae. *Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes*, 51-65.
- S.E. Ruiz Balaguera, (2011). Evaluación de la remoción del colorante INDIGC utilizado en empresas dedicadas a la producción de telas tipo DENIM empleando a *pleutorus ostreatus* como modelo biológico. Trabajo de Pregrado. Universidad de la Sabana.
- Santiago-Santos, M. C., Ponce-Noyola, T., Olvera-Ramírez, R., Ortega-López, J., & Cañizares-Villanueva, R. O. (2004). Extraction and purification of phycocyanin from *Calothrix* sp. *Process biochemistry*, 39(12), 2047-2052.
- Sarada, R. M. G. P., Pillai, M. G., & Ravishankar, G. A. (1999). Phycocyanin from *Spirulina* sp: influence of processing of biomass on phycocyanin yield, analysis of efficacy of extraction methods and stability studies on phycocyanin. *Process biochemistry*, 34(8), 795-801.
- Shanmugam, A., Sigamani, S., Venkatachalam, H., Jayaraman, J. D., & Ramamurthy, D. (2017). Antibacterial activity of extracted phycocyanin from *Oscillatoria* sp. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 7(03), 062-067.

- Sharief, S. A., & Nayak, C. A. (2016). Concentration of C-Phycocyanin from *Spirulina platensis* Using Forward Osmosis Membrane Process. In *Biotechnology and Biochemical Engineering* (pp. 153-161). Springer, Singapore.
- Silva, L. A. (2008). Estudo do processo biotecnológico de produção, extração e recuperação do pigmento ficocianina da *Spirulina platensis*.
- Silveira, S. T., Burkert, J., Costa, J. A. V., Burkert, C. A. V., & Kalil, S. J. (2007). Optimization of phycocyanin extraction from *Spirulina platensis* using factorial design. *Bioresource technology*, 98(8), 1629-1634.
- Sobiechowska-Sasim, M., Stoń-Egiert, J., & Kosakowska, A. (2014). Quantitative analysis of extracted phycobilin pigments in cyanobacteria—an assessment of spectrophotometric and spectrofluorometric methods. *Journal of applied phycology*, 26(5), 2065-2074.
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience and bioengineering*, 101(2), 87-96.
- Stadnichuk, I. N., Krasilnikov, P. M., & Zlenko, D. V. (2015). Cyanobacterial phycobilisomes and phycobiliproteins. *Microbiology*, 84(2), 101-111.
- STEIN J. Culture methods and growth measurements. Cambridge University Press. pp. 365, 1975.
- Stengel, D. B., & Connan, S. (2015). *Natural products from marine algae*. Springer

- Tandeau de Marsac, N., & Houmard, J. (1993). Adaptation of cyanobacteria to environmental stimuli: new steps towards molecular mechanisms. *FEMS microbiology reviews*, 10(1-2), 119-189.
- Tolosa Martínez, G. C. (2019). Producción de ficocianina a partir de *Spirulina maxima* en biorreactor PBR tubular para la industria de alimentos.
- UKELES R., ROSE W. *Marine Biology* 37: 11-28, 1976.
- Uribe, F. H. (2016). Efecto de la deficiencia de nitrógeno y la radiación uv en la actividad fotosintética y en los compuestos antioxidantes de las cianobacterias *Spirulina* (*Arthrospira*) *maxima* y *Phormidium persicinum*.
- Ventosa, A., & Nieto, J. J. (1995). Biotechnological applications and potentialities of halophilic microorganisms. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 11(1), 85-94.
- Walter, A., Carvalho, J. C. D., Soccol, V. T., Faria, A. B. B. D., Ghiggi, V., & Soccol, C. R. (2011). Study of phycocyanin production from *Spirulina platensis* under different light spectra. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54(4), 675-682.
- Yoon, J. H., Shin, J. H., & Park, T. H. (2008). Characterization of factors influencing the growth of *Anabaena variabilis* in a bubble column reactor. *Bioresource technology*, 99(5), 1204-1210.