



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS DE MEJORA CONTINUA EN LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE SPIRULINA”. Una Revisión Sistemática.

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Industrial

Autor:

Luis Alberto Ramos Cruzate

Asesor:

Mg. Lupe Yovani Gallardo Pastor

Lima - Perú

2019

DEDICATORIA

A mi madre, por ser mi guía y mi inspiración

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte, que a través de sus docentes y personal de apoyo ha contribuido a mi formación profesional.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDO	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	11
CAPÍTULO III. RESULTADOS	18
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES	27
REFERENCIAS.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Artículos, tesis y libros incluidos en la revisión sistemática según las palabras clave utilizadas</i>	13
Tabla 2. <i>Clasificación de autores según aspectos estudiados sobre la producción de Spirulina y año de publicación</i>	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Clasificación por tipo de información</i>	18
Figura 2. <i>Clasificación de la información por años</i>	19
Figura 3. <i>Clasificación de la información por país</i>	20
Figura 4. <i>Clasificación de la información por tipo de buscador</i>	21

RESUMEN

La mejora continua en las empresas productoras de Spirulina les permiten tener una ventaja competitiva por ello la innovación tecnológica en los procesos de producción es de suma importancia. Esta revisión bibliográfica tiene por objetivo conocer si este proceso se está dando y en qué proporción, para ello se ha revisado diferentes fuentes de información como Google Académico, Elsevier, SciElo, Redalyc, Dialnet y Google. Encontrando suficiente evidencia de proyectos de mejora tecnológica en diferentes fases del proceso productivo de Spirulina así como de hallar beneficios adicionales en dicho proceso como el de disminuir los niveles de CO₂ causados por la contaminación antropogénica a la vez que producir un superalimento para humanos y animales así como un biocombustible de tercera generación. Todo ello hace de la producción de Spirulina una industria ecoamigable y adaptable a diferentes regiones y climas, con grandes perspectivas de desarrollo en los siguientes años.

PALABRAS CLAVES: Producción industrial, mejora continua, Spirulina.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La producción de microalgas especialmente de Spirulina a una escala industrial se perfila como un reto biotecnológico, debido a su innegable potencial como alimento a la vez que como combustible biodiésel, y basado en la posibilidad de producir importantes cantidades de biomasa al implementar procesos de mejora continua promoviendo el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan costos cada vez más competitivos (García, Vicente y Galán, 2018), también es un reto el difundir las bondades de incluir Spirulina en la dieta humana e implementar mayores plantas de producción analizando los métodos y procesos industriales más adecuados de acuerdo a la geografía propia de cada país.

El proceso de cultivo mayoritariamente se da en piletones de poca profundidad (raceway ponds) como es el caso de las plantas de Parrys Nutraceuticals en India, Cyanotech y Earthrise en EEUU y Solarium Biotechnology en Chile (Argento, Sempere y Van Lierde, 2016). Las técnicas de cultivo y producción se ajustan a las condiciones climáticas, disponibilidad de recursos y área de cultivo propio a cada zona geográfica pero también se presentan otras técnicas de cultivo diferentes a las convencionales como por ejemplo el denominado cultivo a través del fotobiorreactor tubular cónico (Huarachi et al., 2016).

A diferencia de los cultivos tradicionales de origen vegetal, esta microalga puede ser cultivadas en lagos o sistemas artificiales controlados, alcanzando en estos una mayor productividad teniendo la ventaja de poder desarrollarse satisfactoriamente en regiones desérticas y costeras (Cerón, 2013). Adicionalmente a ello cabe mencionar que la Spirulina al captar la luz solar, una energía renovable e ilimitada y consumir CO₂, gas de efecto invernadero constituye un cultivo totalmente ecoamigable.

Frente a una mayor conciencia de una medicina preventiva y a la demanda cada vez mayor de complementos alimentarios, la spirulina se presenta como una excelente opción comercial además de perfilarse como una importante alternativa para combatir el hambre en países en vías de desarrollo, considerando que uno de los mayores problemas en ellos son los altos índices de malnutrición y anemia en la población.

La spirulina platensis, llamada comunmente microalga es una bacteria fotosintética denominada cianofita, ella tiene la capacidad de captar la luz solar, CO₂ y nutrientes de su medio para a partir de ellos pueda generar carbohidratos, lípidos, proteínas, vitaminas y minerales que pueden ser consumidos por otros organismos superiores así como también poder obtener de ellos pigmentos para la industria cosmética y farmacéutica. Hay importantes trabajos en la tercera generación de biocombustible a partir de microalgas (Vieira y de Morais, 2011). La Spirulina está presente en el planeta desde hace unos tres mil quinientos millones de años, dividiéndose en dos nuevas bacterias cada 7 horas pudiendo generar en condiciones favorables unas 15 toneladas de material seco anual por hectárea y con la tecnología adecuada mejorar este rendimiento (Ponce, 2013), he aquí la importancia de la mejora en los procesos de producción a escala industrial.

La sobresaliente proporción de proteínas, vitaminas y minerales producidos por la Spirulina en relación al resto de alimentos ha sido la razón por la cual ha sido declarada por múltiples organismos internacionales como el mejor alimento del futuro (ONU, 1974), alimento rico en hierro y proteínas administrable a niños (OMS, 1993), desde entonces se han iniciado proyectos e iniciativas promovidas por importantes organismos sobre el uso de la Spirulina para combatir la malnutrición y el hambre (FAO, 2011). Definitivamente frente al cumplimiento de la Ley de Malthus que refiere que los alimentos crecen en progresión

aritmética y la población lo hace en proporción geométrica, es prioritario buscar alternativas de producir alimentos en un ambiente ecoamigable y sostenible.

El presente artículo pretende hacer una revisión sistemática de la literatura relacionada y poder responder a la pregunta ¿Qué experiencias se conocen en el proceso de mejora continua para la producción industrial de Spirulina?, pudiendo de esta manera encontrar las más idóneas técnicas y métodos en la producción a escala industrial de esta microalga, teniendo en consideración su importancia como alimento, insumo industrial y biocombustible, en el presente y futuro. Por todo ello el objetivo del presente estudio es analizar las experiencias de mejora continua en la producción industrial de Spirulina.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica. Las revisiones sistemáticas son investigaciones de carácter científico donde la unidad de análisis son los estudios primarios, permiten sintetizar la información existente a la vez que aumentan la validez de las conclusiones así como permiten identificar zonas de duda donde es necesario investigar más (González, Urrutia y Coello, 2011). La pregunta que dirigió el proceso metodológico fue: ¿Qué estrategias existen en el proceso de mejora continua en la producción industrial de Spirulina?

Proceso de Selección

Los artículos fueron seleccionados de la base de datos Google Académico, Scielo, Dialnet y Elsevier, las Tesis y Libros fueron seleccionados de la base de datos Google Académico quien sirvió de intermediario para acceder a los repositorios de las universidades de donde se descargaron en formato PDF. También el investigador considero pertinente incluir la información mostrada a través del buscador Google de las páginas web de empresas productoras de Spirulina en diferentes partes del mundo como evidencia de la cada vez mayor importancia que se le da a la producción a escala industrial. Las palabras clave utilizadas fueron: Producción industrial, mejora continua, Spirulina.

En este estudio, se consideraron los siguientes criterios de inclusión: artículos publicados en la bases de datos Google, Google Académico, Scielo, Dialnet y Elsevier entre los años 2000 y 2019, cuyo tópico central fuese la producción de Spirulina y las propuestas tecnológicas que mejoren dicha producción, así como también el estar en idioma Castellano, Inglés y portugués. Adicionalmente el investigador ha incluido las páginas web empresas productoras de Spirulina siempre y cuando tengan sus páginas actualizadas, tengan

publicaciones y muestren sus procesos de producción. Al realizar la primera inspección de los artículos, libros y tesis, se pudo definir con claridad los criterios de exclusión: artículos de aplicación médica relacionados con tratamientos en base a Spirulina, así como también producción y métodos de cultivo donde se prioriza otras microalgas y finalmente artículos, libros y tesis que encuentren fuera del límite de intervalo de tiempo establecido. Para el caso de las páginas web de empresas se excluyeron a aquellas que priorizan el aspecto comercial de sus productos y solo se incluyeron a aquellas empresas que aportan aspectos referentes a la innovación tecnológica y los procesos productivos, considerando también lugares geográficos diferentes pudiendo seleccionar empresas en Norteamérica, Latinoamérica e India.

Para organizar la información recogida se estableció un protocolo que registraba los siguientes campos: Autores, Título, año de publicación, tipo de información y país de procedencia (Tabla 1).

Proceso de Revisión

Toda la información recolectada a través de los buscadores fue leída al menos dos veces, analizada, codificada y clasificada por el investigador según el protocolo mencionado anteriormente. En el caso de la información registrada en idioma portugués e inglés la traducción primaria fue realizada por el investigador.

Tabla 1

Artículos, tesis y libros incluidos en la revisión sistemática según las palabras clave utilizadas

Autor(es)	Título	Año	Tipo	Buscador	País
Cerón, M.	Producción de microalgas con aplicaciones nutricionales para humanos y animales	2013	Artículo	Google Académico	España
Colorado, M., Moreno, D., & Pérez, J.	Desarrollo, producción y beneficio ambiental de la producción de microalgas. La experiencia en La Guajira, Colombia	2013	Artículo	Google Académico	Colombia
Da Rosa, M., Vieira, J.	Cultivo da microalga spirulina platensis em fontes alternativas de nutrientes	2008	Artículo	SciElo	Brasil
Huarachi, R., et al.	Adaptabilidad de Spirulina (Arthrospira) platensis(Cyanophyta) en fotobiorreactor tubular cónico bajo condiciones ambientales	2015	Artículo	SciElo	Chile
Ponce, E.	Superalimento para un mundo en crisis: Spirulina a bajo costo	2013	Artículo	SciElo	Chile
El-Kassas, H., Heneash, A., Hussein, N.	Cultivation of Arthrospira (Spirulina) platensis using confectionary wastes for aquaculture feeding	2015	Artículo	Elsevier	Egipto
Madkour, F., El-Wahab, A., Shafik, H.	Production and nutritive value of Spirulina platensis in reduced cost media	2012	Artículo	Elsevier	Egipto
Mendoza, H. Adelina De la Jara, A. & Portillo, E.	Planta piloto de cultivo de microalgas	2011	Libro	Google Académico	España

(Continuación)

Autor(es)	Título	Año	Tipo	Buscador	País
Arias, D.	Proyecto de factibilidad de producción y exportación de alga spirulina en cápsulas de 400mg y en polvo de 100g al mercado de brasil	2010	Tesis	Google Académico	Ecuador
García, J., De Vicente M., & Galán B.	Presente y futuro del cultivo de las microalgas para su uso como superalimentos	2018	Artículo	Dialnet	España
Seijas, P.	Biosecuestro de dióxido de carbono, procedente de gases de combustión, por arthrospira jenneri “espirulina” y su influencia en la producción de biomasa microalgal en fotobiorreactor solar	2012	Tesis	Google Académico	Perú
Guardia, M.	Revisión del estado actual de la problemática y de los métodos de análisis para determinación de metales pesados en espirulina.	2018	Tesis	Google Académico	España
Zevallos, S.	Producción de biomasa algal a partir de microalgas locales para la extracción de metabolitos secundarios	2017	Tesis	Google Académico	Perú
Mosquera, F.	Procesos de Upstream y Downstream en la producción de biomasa de microalgas	2015	Tesis	Google Académico	Ecuador
García, M., Quispe, C., & Ráez, L.	Mejora continua de la calidad en los procesos	2003	Artículo	Redalyc	Perú

(Continuación)

Autor(es)	Título	Año	Tipo	Buscador	País
Rivera, M., Gómez, L., Cubillos, J., & Peralta, A.	Efecto de carbón tipo lignito sobre el crecimiento y producción de pigmentos de <i>Arthrospira platensis</i>	2016	Artículo	Dialnet	Colombia
Medina, M., Gastón, A., Abalone, R., & Lara, M.	Modelización térmica de estanques para producción de la microalga espirulina (<i>arthrospira platensis</i>).	2003	Artículo	Google Académico	Argentina
Vásquez-Villalobos, V. et al.	Efecto de la intensidad de diodos electroluminosos y fotoperiodo en la optimización de la producción de biomasa de <i>Spirulina (Arthrospira)</i>	2017	Artículo	Google Académico	Perú
Freire, D.	Implementación de un sistema de mejora en el proceso de cultivo de <i>spirulina</i> mediante la metodología seis sigma, en la planta industrial andesspirulina c.a.	2016	Tesis	Google Académico	Ecuador
Jiménez, C., Rcosío, B., Labella, D., & Niell, F.	The Feasibility of industrial production of <i>Spirulina (Arthrospira)</i> in Southern Spain	2003	Artículo	Elsevier	EE UU
Gaitero, A., Villicaña, E., Sánchez, J., & Bernat, J.	Biofijación de CO ₂ Mediante el Cultivo de Algas. Diseño de un Prototipo de Fotobiorreactor para el Cultivo de " <i>Spirulina Platensis</i> "	2012	Artículo	Google Académico	España
Priyadarshani, I. & Rath, B.	Commercial and industrial applications of micro algae – A review	2012	Artículo	Google Académico	India

(Continuación)

Autor(es)	Título	Año	Tipo	Buscador	País
Oliveira, C., et al.	Chlorophyll production from <i>Spirulina platensis</i> : cultivation with urea addition by fed-batch process	2004	Artículo	Elsevier	EEUU
El-Shimi, H., Attia, N., El-Sheltawy, S., & El-Diwani, G.	Biodiesel Production from <i>Spirulina-Platensis</i> Microalgae by In-Situ Transesterification Process	2013	Artículo	Google Académico	Egipto
Pelizer L., et al.	Influence of inoculum age and concentration in <i>Spirulina platensis</i> cultivation	2003	Artículo	Elsevier	EEUU
Kumar, M., Kulshreshtha, J., & Pal Singh, G.	Growth and biopigment accumulation of cyanobacterium <i>Spirulina platensis</i> at different light intensities and temperature	2011	Artículo	SciELO	India
Pandey, J., Pathak, N., & Tiwari, A	Standardization of PH and Light Intensity for the Biomass Production of <i>Spirulina platensis</i> J. P.	2010	Artículo	Google Académico	India
Kumar D., et al	Protocol optimization for enhanced production of pigments in <i>Spirulina</i>	2013	Artículo	Google Académico	India
Lu, Y., Xiang, W., & Wen, Y.	<i>Spirulina</i> (<i>Arthrospira</i>) industry in Inner Mongolia of China: current status and prospects	2011	Artículo	Google Académico	EEUU
Vieira, J., & de Moraes, M.	The role of biochemical engineering in the production of biofuels from microalgae	2011	Artículo	Google Académico	EEUU

(Continuación)

Autor(es)	Título	Año	Tipo	Buscador	País
Rocha, J.	“Producción de biocombustibles utilizando Spirulina sp como fuente de carbono”	2011	Tesis	Google Académico	México
Serna, E.	Desarrollo e innovación en ingeniería	2018	Libro	Google Académico	Colombia
Medina M., & Lara, M.	Eficiencia global en la conversión de energía solar en biomasa de una planta productora de arthrospira platensis (spirulina).	2005	Artículo	Google Académico	Argentina
	Andexs Biotechnology SRL	2019	Web de empresa	Google	Perú
	Cyanotech	2019	Web de empresa	Google	EEUU
	Parry Nutraceuticals	2019	Web de empresa	Google	India
	Earthrise	2019	Web de empresa	Google	EEUU

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Se lograron encontrar 37 referencias mayoritariamente artículos seguidos de tesis, web de empresas y libros respectivamente que cumplieron los criterios de inclusión establecidos seleccionadas de un total de 98 referencias totales; representando los artículos un 64.86% del total, seguidas de las tesis con un 18.92%, las web de empresas 10.81% y finalmente los libros con un 5.41%.

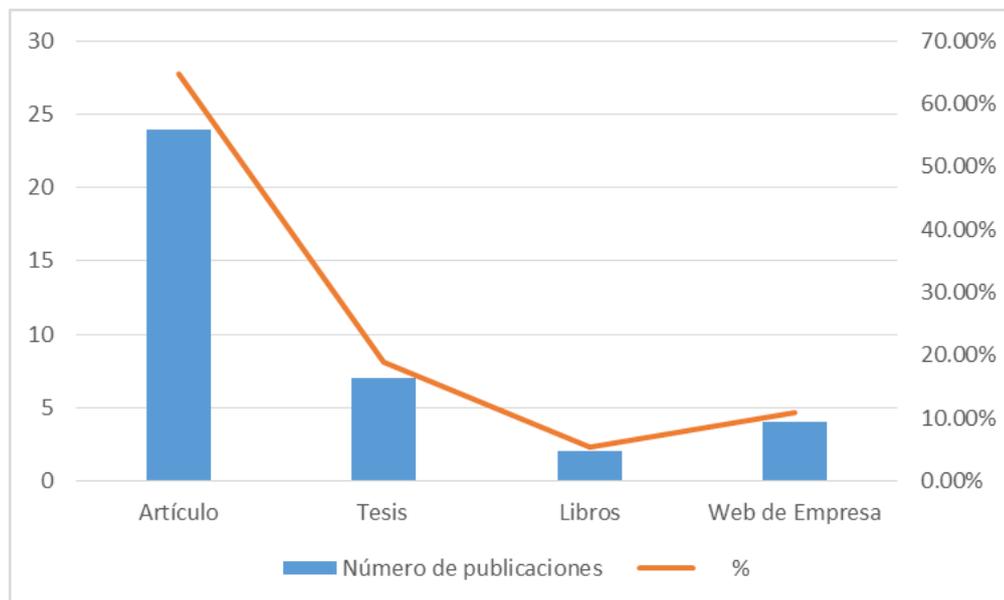


Figura 1. Clasificación por tipo de información.

La clasificación por años se realizó por quinquenios, en el primer quinquenio (2001-2004) se encontraron 5 publicaciones, en el segundo quinquenio (2005-2009) solo fueron encontrados 2 trabajos, para el tercer quinquenio (2010-2014) se encontraron 16 publicaciones y finalmente en el último quinquenio (2015-2019) se encontraron 14 publicaciones, es importante señalar que el investigador ha considerado en los criterios de inclusión mencionados en el capítulo de metodología incluir la web de las más importantes

empresas productoras por ser evidencia de la producción y la mejora continua patentizada en la promoción de las certificaciones que ostentan además de considerarlas en el año 2019 por estar en línea y actualizadas al momento de ser consultadas.

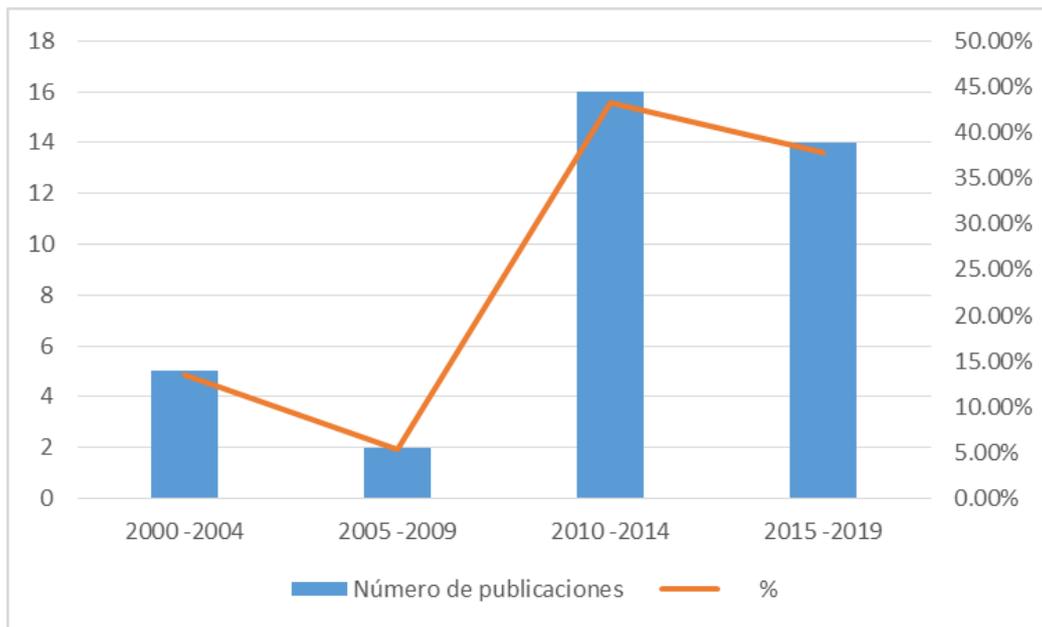


Figura 2. Clasificación de la información por años.

La clasificación por países evidencia en diferentes partes del mundo hay una preocupación por la innovación tecnológica y la producción a escala industrial de la Spirulina, teniendo Sudamérica el 32.43 % de las publicaciones, EEUU el 18.92%, España e India el 13.51% cada una y Egipto el 8.11%

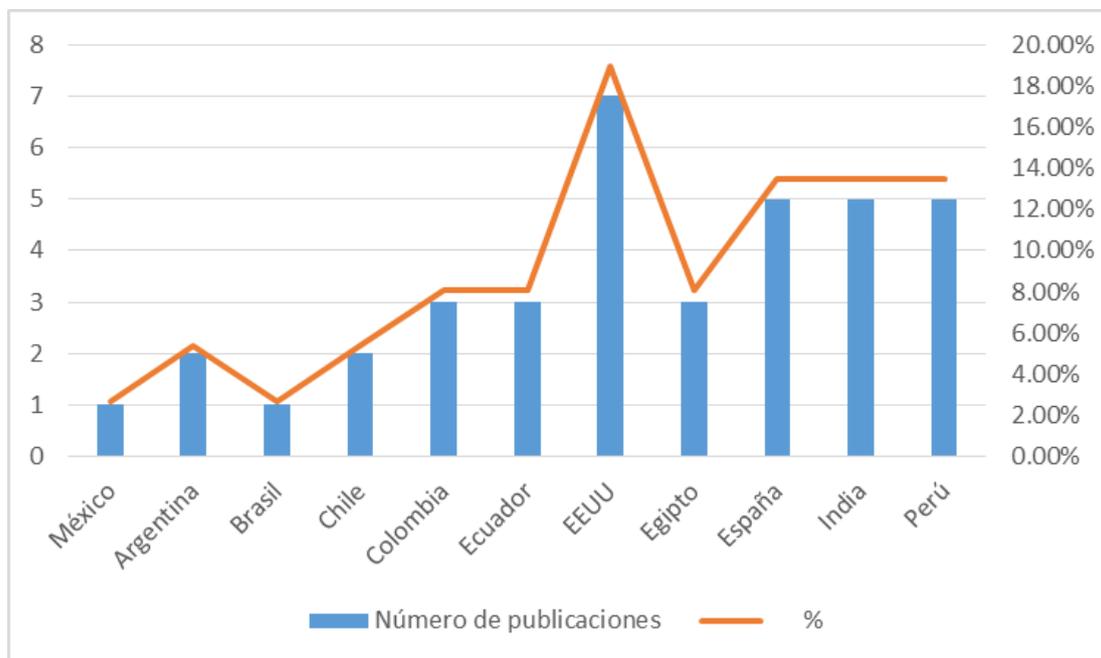


Figura 3. Clasificación de la información por país.

La clasificación por buscadores establece que si bien es cierto hay buscadores especializados en temas científicos Google Académico establece un primer vínculo entre ellos y los investigadores que buscan información en temas multidisciplinarios. Cabe mencionar que hay mucha información en Elsevier por ejemplo pero acceder a ella requiere un pago haciendo difícil poder ingresar a tan valiosa información protegida por derecho de autor o por patentes. Todo lo mencionado se evidencia en el número de publicaciones descargadas a través de Google Académico representan el 56.76% del total, seguidas de Elsevier 13.51%, SciElo 10.81%, Google (para acceder a las web de las empresas consultadas) con un 10.81 %, Dialnet 5.41% y Redalyc 2.70%.

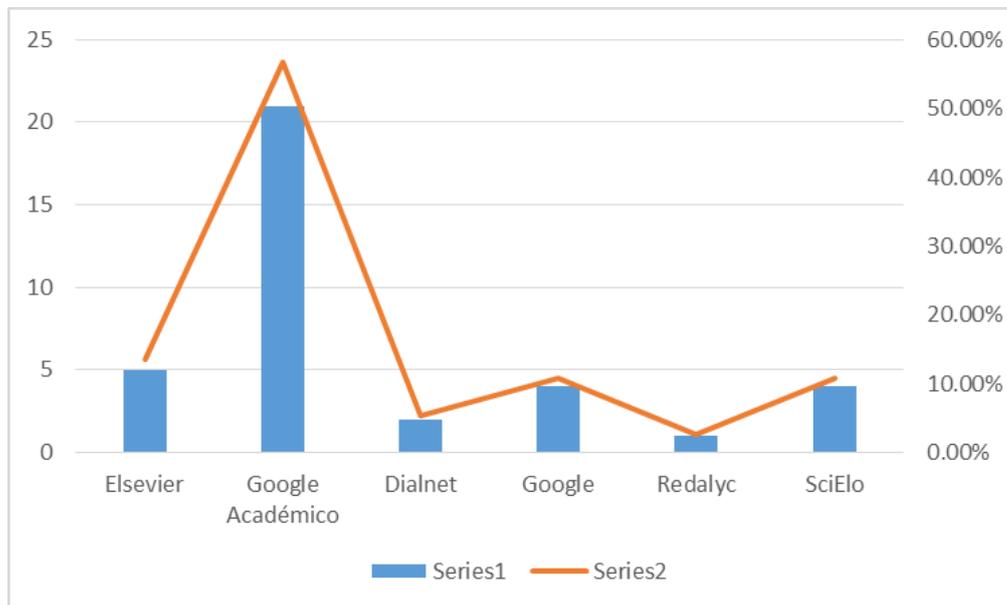


Figura 4. Clasificación de la información por tipo de buscador.

Mendoza, et al. (2011) establece los requerimientos para la implementación de una planta de producción de microalgas a través de sistemas abiertos, cerrados y semicerrados, poniendo énfasis en la selección, gestión y cosecha del cultivo así como el procesamiento de la biomasa con el equipamiento adecuado en los procesos de deshidratación. De la misma manera en su tesis Arias (2010) concluye que el proyecto de la implementación de una planta de producción de Spirulina es factible no solo debido a que el proceso de producción y posterior transformación es sencillo sino de relativamente bajo en inversión a la vez que existe una demanda insatisfecha en el mercado objetivo.

Las empresas que ya producen Spirulina promueven la innovación tecnológica como lo evidencia la presencia de patentes y ayuda tecnológica a otras empresas que deciden incorporarse a esta creciente industria como es el caso de Andexs Biotechnology (2019).

Medina et al. (2003) propone estanques con aislación de poliestireno en la base que permitan el aumento de la temperatura media así como también una manta aislante de uso nocturno en la superficie del estanque de tal manera que aumente la productividad del mismo.

Freire (2016) en su tesis realiza un estudio a la planta Industrial Ecuatoriana Andesspirulina C.A utilizando la metodología Six Sigma pudo identificar procesos que podían ser mejorados logrando optimizar la producción haciendo cambios en la materia prima, primero a escala piloto y posteriormente a escala industrial a la vez que hacer recomendaciones sobre la reubicación a futuro de la planta y así mejorar la productividad.

Gaitero et al (2012) presenta un nuevo biorreactor para producción a gran escala y hace notar la importancia de la fijación de CO₂ como un beneficio en la disminución de la contaminación por CO₂ de origen antropogénico siendo esta captura un beneficio adicional en la industria de la producción de Spirulina. El nuevo diseño se basa en la necesidad de tener biorreactores de carácter modular de producción industrial así como poder superar los problemas de fouling en los biorreactores tradicionales, además de su fácil construcción y mantenimiento. De manera similar Huarachi et al (2015) propone el fotobiorreactor tubular cónico que bajo condiciones ambientales y áreas geográficas reducidas es capaz de producir biomasa suficiente como para competir con los métodos tradicionales de producción.

Los estudios Ponce (2013) en la producción de Spirulina en estanques de polietileno indicaron medias en la producción diaria por estación de 3 g por metro cuadrado en otoño invierno hasta 4 g por metro cuadrado en primavera verano, con un coste de producción por debajo de los 7 dólares por kilogramo siendo esta la mitad del coste comparada a la más alta calidad de carne de res.

Cerón (2013) establece que la producción de Spirulina puede darse en geografías y climas disímiles inclusive en región donde la producción de cultivos tradicionales es imposible, esta versatilidad radica en la gran adaptación que a lo largo de millones de años ha tenido la Spirulina en relación a otras microalgas; también refiere que el destino final de la producción puede ser variado: polvo cápsulas tabletas o pastillas. Según los experimentos satisfactorios de producción preindustrial de Jimenez et al. (2003) en las Canarias establecieron la viabilidad de la producción de tres cepas de Spirulina en lugares donde antes se consideran no viables.

Rivera et al (2016) propone el uso de CBR (Carbón de Bajo Rango) tipo lignito como una alternativa de más bajo coste frente a los usuales sustratos utilizados en la producción de Spirulina y contribuir así al mejoramiento de la producción de su biomasa, que presenta buen crecimiento en medios suplementados con CBR, por lo que se puede confirmar la alta versatilidad de metabolismo de la Spirulina para crecer en medios diferentes a los ya establecidos. Un beneficio adicional es la utilización de la Spirulina en procesos de depuración y biorremediación de aguas contaminadas con materiales procedentes de la explotación carbonífera.

Argento, Sempere y Van Lierde (2016) mencionan que la industria de la producción de Spirulina está en franco crecimiento en diferentes partes del mundo como lo evidencian las plantas Parrys Nutraceuticals en India, Cyanotech y Earthrise en EEUU y Solarium Biotechnology en Chile. Según Lu et al (2011) los países del Asia, también poseen plantas con producciones que superan las 700 toneladas anuales como las 20 plantas localizadas en Mongolia, logrando alta calidad a bajo costo, teniendo como ventaja competitiva una geografía y clima idóneos.

Vásquez-Villalobos et al. (2017) y Pandey et al. (2010) Hacen estudios sobre la influencia de la luminosidad y su efecto en los niveles de producción de Spirulina, el primero enfocándose en la utilización de diodos electroluminosos a diferentes fotoperiodos y el segundo realizando un estudio sobre la influencia de la luminosidad y niveles de PH en la calidad de la producción de pigmento clorofila obtenido de la Spirulina, logrando una estandarización en ambos parámetros.

Rocha (2011) En su tesis utiliza biomasa de Spirulina en obtención de bioetanol, de manera similar, Vieira et al (2011) menciona que la tercera generación de biocombustibles será basada en la microalgas, siendo la mejor alternativa a los graves efectos ambientales generados por la utilización de combustibles de origen fósil.

Se observa que diferentes autores, hacen estudios sobre los diversos aspectos que afectan la producción de Spirulina, pero todos ellos enfocados en aumentar la productividad y por ende disminuir los costes (Tabla 2).

Tabla 2

Clasificación de autores según aspectos estudiados sobre la producción de Spirulina y año de publicación.

Aspecto estudiado	Autor(es)	Año
Utilización y diseño de Fotobiorreactores.	Gaitero, A., Villicaña, E., Sánchez, J., & Bernat, J.	2012
	Huarachi, R., et al.	2015
	Seijas, P.	2012
	Mosquera, F.	2015

(Continuación)

Aspecto estudiado	Autor(es)	Año
Estudios de luminosidad, PH, temperatura y otros parámetros.	Kumar, M., Kulshreshtha, J., & Pal Singh, G.	2011
	Pandey, J., Pathak, N., & Tiwari, A	2010
	Pelizer L., et al.	2003
	Kumar D., et al	2013
	Vásquez-Villalobos, V. et al.	2017
Estudio y mejoramiento de los sistemas de producción	Mosquera, F.	2015
	Rivera, M., Gómez, L., Cubillos, J., & Peralta, A.	2016
	Medina, M., Gastón, A., Abalone, R., & Lara, M.	2003
	Cerón, M.	2013
	El-Kassas, H., Heneash, A., Hussein, N.	2015
	Madkour, F., El-Wahab, A., Shafik, H.	2012
	Ponce, E.	2013
	Zevallos, S.	2017
Oliveira, C., et al.	2004	
Implementación, mejora en plantas productoras.	Mendoza, H. Adelina De la Jara, A. & Portillo, E.	2011
	Colorado, M., Moreno, D., & Pérez, J.	2013
	Jiménez, C., Rcosío, B., Labella, D., & Niell, F.	2003

(Continuación)

Aspecto estudiado	Autor(es)	Año
Implementación, mejora en plantas productoras.	Da Rosa, M., Vieira, J.	2008
	Arias, D.	2010
	Freire, D.	2016
	Lu, Y., Xiang, W., & Wen, Y.	2011
	Medina M., & Lara, M.	2005
Producción de Biocombustibles.	El-Shimi, H., Attia, N., El-Sheltawy, S., & El-Diwani, G.	2013
	Vieira, J., & de Moraes, M.	2011
	Rocha, J.	2011
Interacción e impacto ambiental	Seijas, P.	2012
	El-Shimi, H., Attia, N., El-Sheltawy, S., & El-Diwani, G.	2013
	Vieira, J., & de Moraes, M.	2011
	Gaitero, A., Villicaña, E., Sánchez, J., & Bernat, J.	2012
	Rocha, J.	2011
Exportación y comercialización	Arias, D.	2010
	Priyadarshani, I. & Rath, B.	2012
Perspectivas de la producción de Spirulina	García, J., De Vicente M., & Galán B.	2018

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

La información revisada en la presente revisión sistemática muestra que hay variadas publicaciones referente a la producción de Spirulina en total 98 referencias pero solo han logrado cumplir los criterios de inclusión 37 referencias, representando el 37.76% del total, el resto de la información está referida a aspectos propios de la microbiología, bioquímica, nutrición y medicina. Ello manifiesta la cada vez mayor importancia y utilización de los microorganismos, en este caso la Spirulina, en diferentes industrias que van desde la producción de alimentos hasta la generación de energía limpia y renovable.

La cada vez mayor utilización de las microalgas, ha generado que las empresas productoras de Spirulina desarrollen mecanismos de mejora continua y ello queda evidenciado por el número de publicaciones que muestran propuestas tecnológicas en diferentes fases del proceso de producción, así como el incremento en la producción y difusión de los beneficios de la Spirulina, ya sea como complemento alimentario, pigmento para la industria de los alimentos, insumo en las industrias de la cosmética y farmacéutica así como también en la generación de biocombustibles.

La importancia de una producción a gran escala con mejores niveles de productividad y eficiencia generan por parte de esta industria necesidad de nuevas y particulares técnicas de producción acorde a la situación geográfica y climática de cada país, por ello las investigaciones en innovación son realizadas en diferentes países del mundo, tal como se muestra en los diferentes publicaciones. Desde estanques modificados, pasando por propuestas de nuevos substratos con mayor efectividad y menor costo hasta biorreactores para zonas con poca área de producción.

La industria de la biotecnología es una industria en auge que representa el presente y el futuro tanto de la industria de los alimentos como la de los biocombustibles, teniendo fortalezas intrínsecas a las condiciones de su producción como por ejemplo el no competir con tierras de cultivo de los vegetales en la agricultura puesto que una planta de producción de Spirulina puede establecerse en terrenos desérticos y superando a la industria que produce carne de res por la ventaja competitiva de producir cantidades similares de proteína asimilable por humanos y animales a la mitad de precio y en un tiempo mucho menor, reduciendo meses a días .

La producción industrial de Spirulina actualmente en su mayoría utiliza el método de los piletones en climas donde la temperatura e irradiación solar son las adecuadas y en los países de climas extremos o geografías muy accidentadas ya se está realizando la producción a través de nuevas tecnologías alternativas la más relevante el fotobiorreactor ello evidencia la necesidad de producir Spirulina y la evaluación costo beneficio en relación a otras proteínas de origen animal o vegetal, así como la de buscar nuevas materias primas en la producción de biocombustibles.

La necesidad de alimentos en el presente siglo establece la necesidad de encontrar alimentos de equivalencia nutricional a los tradicionales y de tener alternativas menos contaminantes que los combustibles de origen fósil encuentra en la Spirulina una posible solución a los dos problemas a la vez, siendo la microalga que mayor proyección tiene .

Hay importantes propuestas de mejora en los procesos de producción siendo las más destacadas la de los biorreactores pero necesitan ser implementadas en plantas de producción mixta una parte con las técnicas tradicionales en base a piletones y otra a base de biorreactores de tal manera que se pueda evaluar su competitividad a escala industrial también es importante ver otras novedosas técnicas que están prototipo.

En la literatura revisada no hay una contradicción ni en los enfoques ni en las propuestas tecnológicas de mejora todas apuntan a disminuir los costos, aumentar la productividad a la vez que contribuir a disminuir la contaminación antropogénica por CO₂ una exigencia de la industria contemporánea la dualidad productividad y responsabilidad ambiental.

REFERENCIAS

- Andex Biotechnology SRL. (2019, 22 de abril). Recuperado de <http://www.andexs.org/nosotros/>
- Arias, D. (2010). *Proyecto de factibilidad de producción y exportación de alga Spirulina en cápsulas de 400mg y en polvo de 100g al mercado de Brasil*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador.
- Cyanotech. (2019, 25 de abril). Recuperado de <https://www.cyanotech.com/our-purpose/>
- Cerón, M. (2013). Producción de microalgas con aplicaciones nutricionales para humanos y animales. *Cuadernos de estudios agroalimentarios*, 5 (9), 87-105.
- Colorado, M., Moreno, D., & Pérez, J. (2013). Desarrollo, producción y beneficio ambiental de la producción de microalgas. La experiencia en La Guajira, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 17(32), 113-126.
- Da Rosa, M., Vieira, J. (2008). Cultivo da microalga spirulina platensis em fontes alternativas de nutrientes. *Ciênc. Agrotec*, 32(5), 1151-1153.
- El-Shimi, H., Attia, N., El-Sheltawy, S., & El-Diwani, G. (2013). Biodiesel Production from Spirulina-Platensis Microalgae by In-Situ Transesterification Process. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 3(1), 224-233.
- El-Kassas, H., Heneash, A., Hussein, N. (2015). Cultivation of Arthrospira (Spirulina) platensis using confectionary wastes for aquaculture feeding. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 13(1), 145–155
- Earthrise. (2019, 19 de abril). Recuperado de <http://earthrise.com/spirulina/california-grown-spirulina/>
- Freire, D. (2016). *Implementación de un sistema de mejora en el proceso de cultivo de spirulina mediante la metodología seis sigma, en la planta industrial andesspirulina c.a*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Guardia, M. (2018). *Revisión del estado actual de la problemática y de los métodos de análisis para determinación de metales pesados en Espirulina*. Universidad de Jaén, España.

- García, J., De Vicente M., & Galán B. (2018). Presente y futuro del cultivo de las microalgas para su uso como superalimentos. *Mediterráneo Económico*, 31(1), 333-350.
- García, M., Quispe, C., & Ráez, L. (2003). Mejora continua de la calidad en los procesos. *Industrial Data*, 6(1), 89-94.
- Gaitero, A., Villicaña, E., Sánchez, J., & Bernat, J. (2012). Biofijación de CO2 Mediante el Cultivo de Algas. Diseño de un Prototipo de Fotobiorreactor para el Cultivo de "Spirulina Platensis". (CONAMA 2012). Recuperado de <http://www.conama2012.conama.org/conama10/download/files/conama11/CT%202010/1896706028.pdf>
- Huarachi, R., Yapó, U., Dueñas, A., González, R., Condori, J., Pacheco, D., & Soto, J. (2015). Adaptabilidad de Spirulina (Arthrospira) platensis(Cyanophyta) en fotobiorreactor tubular cónico bajo condiciones ambientales. *IDESIA*, 33(1), 103-112.
- Jiménez, C., Rcoosío, B., Labella, D., & Niell, F. (2003). The Feasibility of industrial production of Spirulina (Arthrospira) in Southern Spain. *Aquaculture*, 217(4), 179-190.
- Kumar, M., Kulshreshtha, J., & Pal Singh, G. (2011). Growth and biopigment accumulation of cyanobacterium Spirulina platensis at different light intensities and temperature. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42(1), 1128-1135.
- Kumar D., et al. (2013). Protocol optimization for enhanced production of pigments in Spirulina. *Indian Journal of Plant Physiology*, 18(3), 308–312.
- Lu, Y., Xiang, W., & Wen, Y. (2011). Spirulina (Arthrospira) industry in Inner Mongolia of China: Current status and prospects. *Journal of Applied Phycology*, 23(2), 265-269.
- Mosquera, F. (2015). *Procesos de Upstream y Downstream en la producción de biomasa de microalgas*. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.

- Mendoza, H. Adelina De la Jara, A. & Portillo, E. (2011). Planta piloto de cultivo de microalgas, España: Instituto Tecnológico de Canarias.
- Madkour, F., El-Wahab, A., Shafik, H. (2012). Production and nutritive value of *Spirulina platensis* in reduced cost media. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 38(1), 51–57.
- Medina M., & Lara, M. (2005). Eficiencia global en la conversión de energía solar en biomasa de una planta productora de *arthrospira platensis* (spirulina). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9(1), 11-16.
- Medina, M., Gastón, A., Abalone, R., & Lara, M. (2003). Modelización térmica de estanques para producción de la microalga espirulina (*arthrospira platensis*). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7(2), 103-108.
- Oliveira, C., et al. (2004). Chlorophyll production from *Spirulina platensis*: cultivation with urea addition by fed-batch process. *Bioresource Technology*, 92(2), 133-141.
- Ponce, E. (2013). Superalimento para un mundo en crisis: *Spirulina* a bajo costo. *IDESIA*, 31(1), 135-139.
- Priyadarshani, I. & Rath, B. (2012). Commercial and industrial applications of micro algae – A review. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 3(4), 89-100.
- Pelizer, L., G Danesi, E., O Rangel, C., Sassano, C., M Carvalho, J., Sato, S., & O Moraes, I. (2003). Influence of inoculum age and concentration in *Spirulina platensis* cultivation. *Journal of Food Engineering*, 56(4), 371-375.
- Pandey, J., Pathak, N., & Tiwari, A. (2010). Standardization of pH and Light Intensity for the Biomass Production of *Spirulina platensis*. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 1 (2), 93 – 102.
- Parry Nutraceuticals. (2019, 23 de abril). Recuperado de <http://www.parrynutraceuticals.com/About-Us>
- Rocha, J. (2011). *Producción de biocombustibles utilizando Spirulina sp como fuente de carbono*. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

- Rivera, M., Gómez, L., Cubillos, J., & Peralta, A. (2016). Efecto de carbón tipo lignito sobre el crecimiento y producción de pigmentos de *Arthrospira platensis*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18 (1), 73-80. doi:10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49994
- Seijas, P. (2012). *Biosecuestro de dióxido de carbono, procedente de gases de combustión, por arthrospira jenneri "Espirulina" y su influencia en la producción de biomasa microalgal en fotobiorreactor solar*. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Serna, E. (2018). Desarrollo e innovación en ingeniería. Colombia: Instituto Antioqueño de Investigación.
- Vásquez-Villalobos, V. et al. (2017). Efecto de la intensidad de diodos electroluminosos y fotoperiodo en la optimización de la producción de biomasa de *Spirulina* (*Arthrospira*). *Scientia Agropecuaria*, 8 (1), 43-55.
- Vieira, J., & de Moraes, M. (2011). The role of biochemical engineering in the production of biofuels from microalgae. *Bioresource Technology*, 102(1), 2-9.
- Zevallos, S. (2017). *Producción de biomasa algal a partir de microalgas locales para la extracción de metabolitos secundarios*. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú.