



IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MICROALGAS PRESENTES EN
ESTANQUES DE POLICULTIVO DE LA EMPRESA ACUACULTIVOS EL GUAJARO S.A.
ATLÁNTICO- COLOMBIA

PRESENTADO POR:

Laura Isabel Henao Montoya

UNIVERSIDAD DEL SINÚ E.B.Z SECCIONAL CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y BIOTECNOLÓGICAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA MARINA
CARTAGENA, COLOMBIA.

Abril 2021



IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MICROALGAS PRESENTES EN
ESTANQUES DE POLICULTIVO DE LA EMPRESA ACUACULTIVOS EL GUAJARO S.A.
BOLÍVAR- COLOMBIA

Presentado por:

Laura Isabel Henao Montoya

Trabajo de Grado para optar al título de Bióloga Marina

Directora:

Martha Jeannette Torres Virviescas

Asesora:

Dra. Patricia Romero Murillo

UNIVERSIDAD DEL SINÚ E.B.Z SECCIONAL CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y BIOTECNOLÓGICAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA MARINA
CARTAGENA, COLOMBIA.

Febrero 2021

AGRADECIMIENTOS

En especial a mi madre Luz Marina Montoya y hermano Camilo Henao por su fortaleza mental y esfuerzos para que pudiera cumplir mis sueños, metas y anhelos, no obstante, a mis familiares y amigos por siempre darme fuerzas y entusiasmo para culminar mis estudios, a todos mis maestros de carrera por aportar a mi formación con sus saberes, experiencias. Agradecer a Dra. Verena Fuentes de la empresa Acuacultivos el Guajaro por permitirme realizar mi trabajo de grado con las muestras de agua de los estanques, a la Universidad del Sinú por aportar mis insumos y kits de laboratorio para procesar las muestras. A mis asesoras Martha Torres Virviescas, Patricia Romero y Eugenia Arrieta por ser una pieza clave para elaborar este trabajo de grado y presentación.

“Quien persevera y lucha constantemente por sus sueños

Estará agradecido y satisfecho consigo mismo”

Laura Henao.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	1
TABLA DE CONTENIDO	2
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	4
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO PROBLEMA	3
Descripción del problema	3
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1 General	4
1.3.2 Específicos	4
2. MARCO REFERENCIAL	5
2.1 Marco teórico	5
2.1.1 Diatomeas	6
2.1.2 Cianofíceas	6
2.1.3 Clorofíceas	6
2.1.4 Dinoflagelados	7
2.3 Estado del arte	8
3. METODOLOGÍA	10
3.1. Área de estudio	10
3.2. Diseño muestral	11

3.3	Recolección de información	12
3.3.1	Parámetros fisicoquímicos	12
3.3.2	Comunidad fitoplanctónica	12
3.5.	Análisis de información	14
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1	Parámetros fisicoquímicos	16
4.2	Determinación cualitativa y cuantitativa de microalgas	17
4.3	Conteo Cámara Neubauer	19
4.4	Diversidad de Shannon e índice de Margalef.	21
4.5	Discusión	23
5.	CONCLUSIÓN	25
6.	RECOMENDACIONES	26
7.	REFERENCIAS	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables fisicoquímicas mes de octubre temporada de lluvia.....	17
Tabla 2 Abundancia de muestras y promedio de especies (estanque 4 y 5 cel/ mL)..	19
Tabla 3 Conteo Cámara Neubauer	20
Tabla 4 Índice de diversidad de Shannon.	21
Tabla 5 Índice de diversidad de Margalef.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la Empresa Acuacultivos El Guajaro Atlántico-Colombia. Tomada de Google maps. 2021.	9
Figura 2 Diagrama de recolecta de muestras microbiológicas.	11
Figura 3 Toma de muestras microbiológicas y fisicoquímicas Empresa Acuacultivos El Guajaro	11
Figura 4 Observación de microalgas y conteo en Cámara Neubauer.	12
Figura 5 Observación en 40X, presencia de microalgas en las muestras de agua. a y b) Clorofitas c) Scenedesmus. d) Coenocystis. e) Chlorella sp. f) Chlorella vulgaris.	16
Figura 6 Representación barras de cantidad y especies encontradas en estanque 4 (color verde oscuro) y estanque 5 (color verde claro).	16

RESUMEN

El fitoplancton se encuentra en la base de la cadena alimenticia de los ecosistemas acuáticos, es esencial para las larvas de crustáceos, peces y moluscos en sus primeras etapas de desarrollo ya que tiene componentes nutricionales importantes y necesarios que en su medio natural son fáciles de adquirir por la especie. Pero además de eso el fitoplancton es el responsable original de la presencia de oxígeno (O₂) en la atmósfera. El fitoplancton de aguas continentales (aguas dulces) se desarrolla en ambientes lénticos que incluye aguas estancadas como lagos, lagunas, embalses y estanques artificiales. Como también ambientes lóticos, manantiales, ríos, arroyos, cascadas y canales.

En Colombia se considera que el Caribe Colombiano presenta importantes ventajas competitivas para hacer uso y explotación de las microalgas en diversos procesos biotecnológicos y acuícolas, debido a la gran biodiversidad de ecosistemas de la región, altas tasas de iluminación y sus estados climáticos estables a lo largo del año.

Esta investigación se realizó con el objetivo de identificar y cuantificar las microalgas encontradas en los estanques de policultivo de la empresa Acuacultivos El Guajaro en temporada de lluvia para el mes de octubre del año 2020. A partir de observación de muestras, conteo de células en cámara Neubauer e índices ecológicos. Como resultado se determinó que las microalgas más abundantes de los estanques en estudio fueron las especies *Scenedesmus* y *Chlorella vulgaris*, la abundancia y diversidad de los estanques fue baja para el número de especies y encontrado.

INTRODUCCIÓN

El fitoplancton se encuentra en la base de la cadena alimenticia de los ecosistemas acuáticos, es esencial para las larvas de crustáceos, peces y moluscos en sus primeras etapas de desarrollo ya que tiene componentes nutricionales importantes y necesarios que en su medio natural son fáciles de adquirir por la especie. Pero además de eso el fitoplancton es el responsable de originar el oxígeno (O₂) en la atmósfera (Díaz Reyna & Prieto Rios, 2015).

A nivel mundial la acuicultura es la actividad económica que más crecimiento ha tenido, esta actividad necesita de avances científicos que se están desarrollando desde hace 50 años ayudando a mejorar en gran medida los conocimientos acerca del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos productivos, así como la conciencia de manejar la actividad productiva de forma sostenible (FAO, 2020).

En la acuicultura las microalgas son componentes fundamentales como parte de la red trófica de los estanques de cultivo. Pero además se ha determinado que el 30% de la producción mundial de microalgas está destinada al consumo animal. Algunas como *Chlorella sp*, *Scenedesmus sp*, *Pediastrum sp* y *Spirulina sp* son importantes por poseer una carga alta en ácidos grasos, que aportan beneficios a las especies como: respuesta óptima a su sistema inmune, la disminución de infertilidad, el control de enfermedades digestivas y el control adecuado del peso (Labbé, 2014).

Para las especies acuícolas en desarrollo es necesario determinar los componentes del fitoplancton y su abundancia en los estanques de cultivo teniendo en cuenta el estado de madurez

del estanque de producción e identificar la comunidad planctónica como sustento para la especie en producción. Además, el objetivo de contar microalgas no es solamente establecer la densidad poblacional, sino también determinar numéricamente el grado de división celular en un determinado tiempo. Estos resultados permiten estimar en cierto modo la fertilidad de un estanque de cultivo y relacionarlo con la curva de crecimiento de esa población algal. (Díaz Reyna & Prieto Rios, 2015)

Adicional al conocimiento sobre las propiedades de un cultivo de microalgas, es importante conocer los rangos de tolerancia fisicoquímicos de las microalgas en estanques de producción. Al evaluar el mayor número de parámetros fisicoquímicos, tanto individuales como en conjunto, contribuye a comprender las condiciones óptimas requeridas de las diferentes especies de microalgas en su desarrollo (Céspedes, 2015)

Para la empresa Acuacultivos El Guajaro el estudio acerca de la identificación de microalgas, ampliará el conocimiento sobre la diversidad y abundancia de especies registradas en los estanques de producción. Esta información a futuro puede ser utilizada en la producción de alimento vivo y se tendría un primer catálogo de microalgas útiles para la acuicultura en la región del Caribe. Además, aportaría a la empresa Acuacultivos El Guajaro reconocimiento nacional una vez aplique técnicas que involucren el uso de microalgas en sus estanques de producción, fortaleciendo la investigación del país en el tema con potenciales favorecedores en la acuicultura.

1. PLANTEAMIENTO PROBLEMA

Descripción del problema

Colombia por su ubicación geográfica, cuenta con condiciones climáticas, topográficas e hidrológicas óptimas para desarrollar la acuicultura. Entre ellas se destaca su localización en la línea ecuatorial, por lo tanto, posee un régimen de temperaturas estables durante el año, que hace más fácil la integración de la acuicultura en las diferentes regiones del país (Galicía, 2018).

La acuicultura en Colombia se ha transformado en una actividad primordial en los últimos años para satisfacer la demanda de productos alimenticios para el país y la oferta externa. Dentro de la acuicultura Existen diferentes sistemas de producción utilizados de acuerdo a las necesidades y requerimientos de los organismos y producción que se quiere obtener finalmente, estos se clasifican en: extensivos ($0,05 \text{ Kg/m}^3$), semi-extensivos ($0,1-0,5 \text{ Kg/m}^3$), semi-intensivos ($1-2 \text{ Kg/m}^3$), intensivo ($15-50 \text{ Kg/m}^3$) y super-intensivos ($\geq 150 \text{ Kg/m}^3$) (Ballester Cámara, 2021).

Independiente del sistema de producción que se trabaje en la acuicultura es importante tener una calidad estructural y fisicoquímica de los estanques, que favorecen al productor al prolongar su uso y contribuyendo al desarrollo adecuado de las especies dentro del estanque. Algunos aspectos como: topografía, suministro de agua, intensidad del cultivo, volumen de producción y óptimo desarrollo de la comunidad fitoplanctónica son importantes tener en cuenta a la hora de construir un sistema productor acuícola (García Tisnes, 2001)

Junto con esto el alimento es la clave en los sistemas de producción, es básicamente uno de los principales factores que determina el éxito o el fracaso del cultivo. Dado a la importancia que existe para el desarrollo de las especies comerciales, principalmente moluscos, peces y

crustáceos producidos en condiciones controladas, para Colombia y específicamente para la región Caribe existe un vacío de información con respecto al componente fitoplanctónico en estanques de cultivo el cual no se está aprovechando para la misma producción (Colorado et al., 2013).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la diversidad y abundancia de microalgas en los estanques de policultivo de la empresa Acuacultivos El Guajaro en el departamento del Atlántico- Colombia?

1.3. Objetivos

1.3.1 General

Analizar la diversidad y abundancia de microalgas en estanques de policultivo de la Empresa Acuacultivos El Guajaro.

1.3.2 Específicos

- Caracterizar el entorno de la comunidad fitoplanctónica a través de las variables físico-químicas de los estanques de estudio en época de lluvia.
- Identificar las microalgas encontradas en los estanques de estudio de la empresa Acuacultivos El Guajaro en la época de lluvia.
- Evaluar presencia y abundancia de la comunidad Fitoplanctónica correspondiente a los estanques de estudio de la empresa Acuacultivos El Guajaro para la época de lluvia.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco teórico

El fitoplancton de aguas continentales (aguas dulces) se desarrolla en ambientes lénticos que incluye aguas estancadas como lagos, lagunas, embalses y estanques artificiales. Como también ambientes lóticos, manantiales, ríos, arroyos, cascadas y canales. El ciclo de vida del fitoplancton es corto e incluye formación de esporas de resistencia, con las cuales sobreviven durante periodos desfavorables y como forma de conservar su diversidad genética (Díaz Reyna & Prieto Ríos, 2015)

Las microalgas son fotoautótrofas, realizan la fotosíntesis convirtiendo la energía lumínica en energía metabólica. El periodo de exposición de la luz se incluye en los procesos de reproducción y crecimiento de las células, por ejemplo, en las diatomeas la reproducción asexual por fusión binaria ocurre en periodos de luz y la formación de esporas en periodos de oscuridad. La calidad de la luz no solo influye en el crecimiento de las microalgas sino también en la composición de macromoléculas, tasas de respiración y actividad de enzimas carboxílicas (García et al, 2018).

El fitoplancton que se puede encontrar en los estanques de cultivo, presenta una gran diversidad en función de las condiciones naturales del lugar y de la presencia o ausencia de nutrientes, eutrofización, etc. Se pueden encontrar representantes dentro de los estanques productores, diatomeas, dinoflagelados, cianofíceas y clorofíceas (Díaz Reyna & Prieto Rios, 2015).

2.1.1 Diatomeas

Las diatomeas son un grupo de microalgas unicelulares y eucariotas pertenecientes a la clase de *Bacillariophyceae*. Estos microorganismos presentan un rango de tamaño entre 50 y 500 µm (microplancton) son estrictamente autótrofas, presentan pigmentos fotosintéticos como la *clorofila a* y *c*. Una característica especial de este tipo de algas es que se encuentran rodeadas por una pared celular única hecha de sílice (dióxido de silicio hidratado) llamada frústula (Lee., 2008. Díaz Reyna & Prieto Rios, 2015).

2.1.2 Cianofíceas

Las cianofíceas, también llamadas cianofíceas o cianobacterias, son microorganismos procarióticos puesto que carecen de membrana nuclear. Estos microorganismos presentan pigmentos fotosintéticos como la *clorofila a*, carotenos como las xantofilas y ficocianina que dan un pigmento azulado debido a esto su nombre común de algas verde azuladas (Lee., 2008. Díaz Reyna & Prieto Rios, 2015).

2.1.3 Clorofíceas

Son algas verdes, las cuales presentan *clorofila a* y *clorofila b* cuyo tamaño comprende desde las microscópicas, unicelulares, hasta las grandes algas formadas por filamentos de considerable longitud. Sus especies se hallan distribuidas por todo el mundo, al contener *clorofila a* les permite sintetizar sustancias alimenticias a partir de materiales minerales, adicionalmente tienen carotenoides como luteína. Los alimentos sobrantes se almacenan en forma de almidón (Lee., 2008. Díaz Reyna & Prieto Rios, 2015).

2.1.4 Dinoflagelados

Los dinoflagelados son organismos unicelulares, los cuales corresponden a un grupo de fitoplancton marino de carácter cosmopolita. Sus poblaciones se distribuyen en función de la temperatura, salinidad y profundidad. Sus características morfológicas y requerimientos nutritivos los hacen exitosos desde el punto de vista reproductivo y de crecimiento, en aguas tropicales Tomas, 1997., (Díaz Reyna & Prieto Rios, 2015).

Muchas microalgas se mantienen hasta la fecha inexploradas por lo que su identificación y cultivo representa una gran oportunidad para futuras investigaciones. Las microalgas han alcanzado una enorme importancia fundamentalmente, a la combinación de usos desde alimentación hasta componentes bioquímicos en la industria (Colorado Gómez et al, 2013).

En el contexto mundial, países como Estados Unidos, los miembros de la Comunidad Económica Europea, Australia, China, Israel, Japón, Chile y Cuba, entre otros, han establecido industrias e investigaciones en base al uso de especies de microalgas de valor económico. Para Colombia se considera que el Caribe presenta importantes ventajas competitivas para hacer uso y explotación de las microalgas en diversos procesos biotecnológicos y acuícolas, debido a la gran biodiversidad de ecosistemas de la región, altas tasas de iluminación y sus estados climáticos estables a lo largo del año (Colorado Gómez et al, 2013).

2.3 Estado del arte

La permanencia, composición y distribución del fitoplancton es un excelente indicador de calidad del agua. Con respecto a esto en la investigación realizada por Quiroz Castelán et al (2006) analizaron la observación de los principales grupos de fitoplancton, su abundancia y distribución, así como la relación con parámetros fisicoquímicos del agua, durante el ciclo anual en el municipio de Pilcaya-México, tomaron muestras fitoplanctónicas de manera superficial, durante noviembre del 2003 y diciembre del 2004 cada 30 días aleatoriamente en cuatro estaciones del cuerpo de agua. Como resultado obtuvieron durante un año de muestreo 122, 358 org/ml, agrupándolos en cinco grupos principales: *Euglenophyta*, *Cyanophyta*, *Chlorophyta*, *Bacillariophyceae* y *Pyrrophyta*; los más dominantes fueron *Euglenophyta* y *Cyanophyta*, ya que los demás grupos presentaron porcentajes menores del 6%.

A medida que se incorporan técnicas más sustentables y rentables en la acuicultura la investigación del fitoplancton y otros microorganismos se intensifica. Es así que investigaciones como la de Díaz Reyna & Prieto Ríos (2015) se basó en la identificación, y clasificación de especies de fitoplancton asociadas a la acuicultura de tilapias, del centro de investigación Hidrológico y de Agua Dulce (CHIAD) en Pegón-Nicaragua, en los meses de septiembre y octubre de 2015. Establecieron los datos de análisis a nivel de género y adicional a la identificación estimaron la densidad poblacional (cel/ml). Durante el periodo de estudio la comunidad de fitoplancton la representaron por grupos taxonómicos como: Clorofitas, Diatomeas, Cianofitas, sin registrar el grupo de los Dinoflagelados.

Utilizaron tres estanques de cultivo, donde el agua era extraída de un pozo con una profundidad de 30 m. Los resultados que obtuvieron del primer estanque el grupo más dominante fue las Clorofitas con el valor más alto en 100,000 cel/ml, seguido de las Diatomeas con 40,000

cel/ml y tercer lugar Cianofitas 17,500 cel/ml. Para el segundo estanque el grupo predominante fue las Clorofitas con 115,000 cel/ml seguido de las Diatomeas 37,500 cel/ml y Cianofitas 20,000 cel/ml y 0 cel/ml de Dinoflagelados. El último estanque obtuvo 92,500 cel/ml de Clorofitas, seguido de 42,000 cel/ml de Diatomeas, en tercer lugar 17,500 cel/ml de Cianofitas y 0 cel/ml de Dinoflagelados. Como conclusión de los 3 grupos de fitoplancton que se encontraron, la mayor cantidad fueron las Clorofilas de las cuales las siguientes especies fueron descritas: *Chlorella vulgaris*, *Chlorella skoriniana*, *Volvox aereus*, *Oocystis solitaria*.

Al igual que estudios como el de Arias et al., (2015) realizado durante 2008 al 2015 en el laboratorio y Estación de Biología Marina de Puntarenas Costa Rica el cual tuvo como objetivo la producción de fitoplancton marino, efectuando anualmente mejoras en la producción masiva, mantenimiento de cepas e intermedios observando los factores de tensión detectados en los años de estudio y anteriores. Los resultados alcanzados fue una adquisición de 11 especies certificadas como *Tetraselmis suecica*, *Chaetoceros muelleri*, *C. neogracilis*, *C. gracilis*, mejoras en protocolos de producción masiva, aislamiento de dos especies endógenas del Golfo de Nicoya, aclimatación y escalamiento a dos Ton de especie endógena del Golfo de Nicoya clasificada como sp1 y por último un incremento de 60% en la producción de cultivos masivos.

Durante ese periodo de investigación y resultados 10 especies fueron material didáctico en siete cursos de III y IV semestre de la carrera de Biología Marina, indicando que esta actividad contribuyó al desarrollo de docencia, investigación y extensión que impulsa la Escuela de Ciencias Biológicas. Importante reconocer que dentro de la investigación desean continuar con el trabajo de obtención de especies endémicas aclimatadas, identificadas y validadas como fuente de alimento vivo.

Todas estas investigaciones descritas anteriormente llegan a la conclusión, que el uso y aprovechamiento de las microalgas es muy bajo a comparación de otros microorganismos utilizados en la industria biotecnológica y acuícola.

3. METODOLOGÍA

Este trabajo de grado se encuentra dentro de la línea investigación de Acuicultura estipulada en los lineamientos de la Escuela de Biología Marina de la Universidad del Sinú Cartagena-Colombia, bajo la metodología de investigación descriptiva.

3.1. Área de estudio

Se realizó una visita a las instalaciones de la finca principal Acuicultura El Guajaro en el mes de octubre del año 2020 en época de lluvias.

La finca está Situada en la vereda La Peña del municipio de Sabanalarga-Atlántico a 1 hora 47 minutos de la Ciudad de Cartagena, a orillas del embalse de El Guajaro (Figura 1 y 2).

La finca El Guajaro es la encargada de cultivar en la región especies como la cachama, tilapia, bocachico y es pionero en la región por cultivar camarón en agua dulce bajo el método de policultivo y de manera intensiva. La finca cuenta con una zona de aclimatación de alevines, dos estanques de poslarva, 16 estanques de engorde, un laboratorio para control de larvas, un laboratorio de toma de muestras fisicoquímicas, un área de lavado, empaque y despacho de especies cosechadas.

De los 16 estanques de engorde fueron escogidos los estanques 4 y 5 para la investigación por directriz del personal encargado del área, dado que en los estanques se encontraba la producción de cachama y camarón próximos a cosechar.

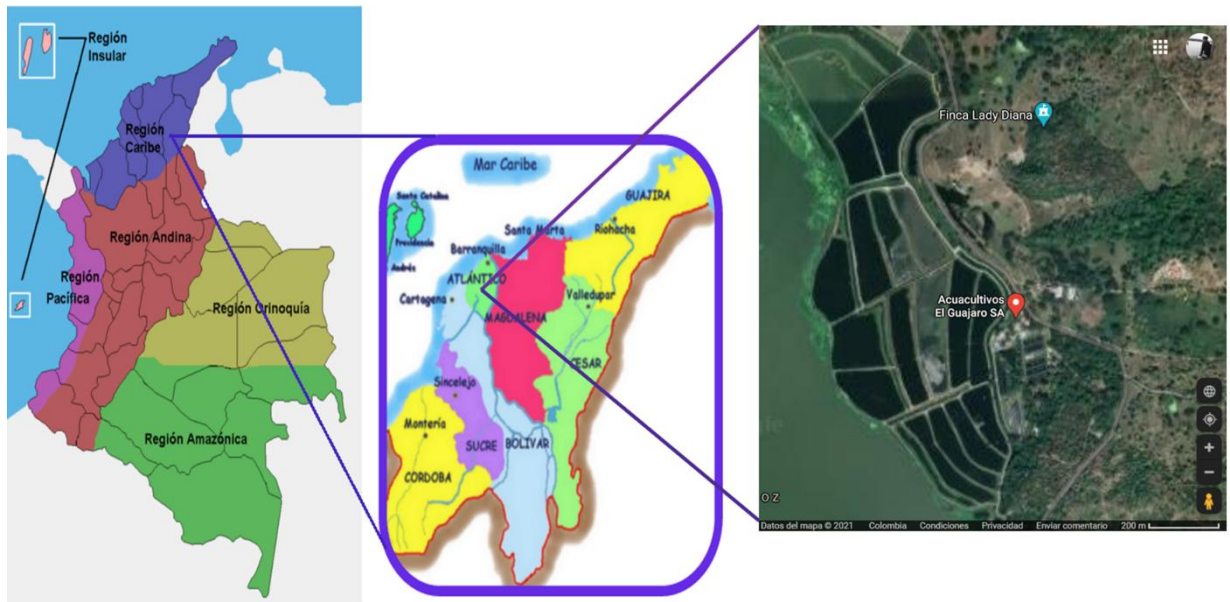


Figura 1 Ubicación de la Empresa Acuacultivos El Guajaro Atlántico-Colombia. Tomada de Google maps. 2021.

3.2. Diseño muestral

La población objeto de estudio correspondió a especies acuáticas denominadas microalgas, importantes en la cadena trófica de un ecosistema acuático por sus diversas cargas nutricionales. Los muestreos se desarrollaron en el mes de octubre del año 2020 en temporada de lluvia en las instalaciones de la empresa Acuacultivos El Guajaro S.A. Atlántico-Colombia.

Se evaluaron los estanques 4 y 5, se les realizó tres muestras aleatorias de agua a cada estanque. La primera muestra de cada estanque se recolectó para analizar parámetros fisicoquímicos “in situ”. La segunda de cada estanque para recolectar el agua filtrada. Y por último la tercera muestra se tomó directamente de cada estanque sin filtrar.

Para preservar las muestras se transportaron en frío a una temperatura de 4C°. Una vez en laboratorio se realizó la observación microscópica de la muestra filtrada y sin filtrar con el objetivo de identificar la presencia de microalgas en los estanques de policultivo. Además, se

realizó un conteo en Cámara Neubauer para establecer la abundancia de microalgas, los resultados del conteo de células se tabularon y procesaron estadísticamente (Figura 5).

3.3 Recolección de información

3.3.1 Parámetros fisicoquímicos

Las variables fisicoquímicas evaluadas (pH, temperatura, nitritos, amonio, oxígeno disuelto y cloro) fueron medidas “in situ” con un kit portátil (figura 4), los resultados fueron tabulados en una base de datos para su comparación.

3.3.2 Comunidad fitoplanctónica

Las muestras de la comunidad fitoplanctónica se obtuvieron lanzando aleatoriamente un balde de 40 L en cada estanque (4 y 5) a una profundidad de 20- 30 cm, con el fin de encontrar activas y en alimentación las microalgas (Valer, 2014) en una malla de 30 micras.

Para que fuese significativa la muestra tomada en los 40L iniciales se pasó lo acumulado en el filtro, a una probeta de 200 ml una vez con la medida exacta se almacenó la muestra en un recipiente plástico rotulado con: fecha, hora, número de estanque, número de muestra, número de malla y tipo del estanque. Fue preservada en una disolución de formalina al 4% para evitar la descomposición del fitoplancton (Figura 2 y 3).

Por último, se realizó una toma de agua solo utilizando el balde de 40L y la probeta de 200 ml, no se le realizó filtración ni preservación con el fin de observar características que se pierden con la preservación de la formalina (Figura 2 y 3).

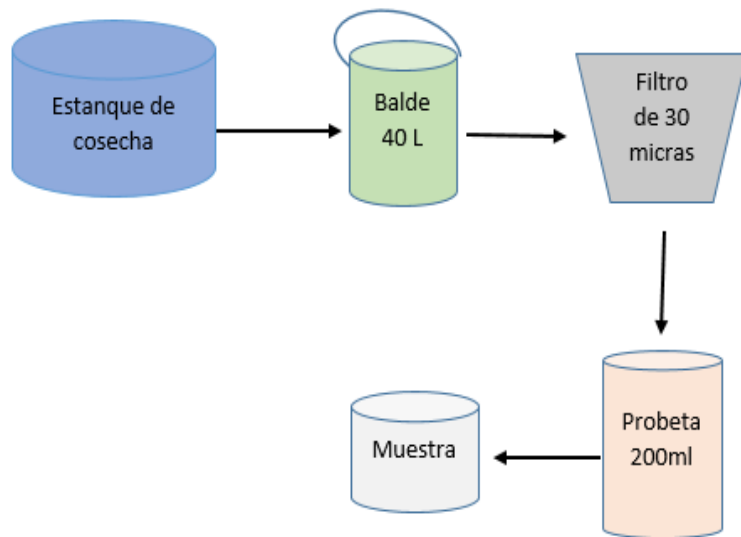


Figura 2 Diagrama de recolecta de muestras microbiológicas.



Figura 3 Toma de muestras microbiológicas y fisicoquímicas Empresa Acuacultivos El Guajaro



Figura 4 Observación de microalgas y conteo en Cámara Neubauer.

3.5. Análisis de información

Se caracterizaron ecológicamente las comunidades de fitoplancton mediante el índice de Shannon o índice de diversidad (H). El índice de Shannon, expresa el grado de uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies que presentan las muestra.

La fórmula del índice de Shannon es la siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

Donde:

- S- número de especies (la riqueza de especies)
- Pi- proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i) $\frac{n_i}{N}$
- ni- número de individuos de la especie i

- N- número de todos los individuos de todas las especies donde D= índice de diversidad (Pla, 2006).

Se realizó el Índice de Riqueza de Margalef (D) fórmula sencilla que mide el número de especies por número de individuos especificados o la cantidad de especies por área en una muestra Margalef, (1969)., (Campo & Duval, 2014) su fórmula es:

$$Dmg = \frac{S - 1}{\ln \ln N}$$

Donde:

- S- número de especies.
- N- número total de individuos.

Para el conteo de microalgas se utilizó una cámara Neubauer, consta de cuatro cuadrantes cada uno con 16 cuadrados en el interior de cada cuadrante se utilizaron los cuadrantes externos, se empezó siguiendo una trayectoria en “S” con relación de los organismos que se encontraron en límites con la línea del cuadrado no se tuvieron en cuenta, solo se contó los microorganismos que estaban dentro del cuadrado.

Para realizar el cálculo se utilizó la siguiente ecuación.

$$N^{\circ} \text{ total de microalgas} = \frac{n^{\circ} \text{ de algas contabilizadas} * 10000}{4(\text{número de cuadrantes})}$$

Además, se realizó una revisión bibliográfica de claves taxonómicas (Peñafiel Bonilla & Quillay Rochina, 2019., Streble & Krauter 1987., Liliana 1987) que ayudaron con identificación de las especies.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Parámetros fisicoquímicos

El pH presentó un valor mayor de 7.5 y menor 7.3 evidenciando que los estanques 4 y 5 se mantienen en un pH básico (Tabla 1). La temperatura del agua evidencio una estabilidad de 31°C en ambos estanques, el resultado de Nitritos presentó un valor entre 0.2 a 0.8 un rango de estabilidad en ambos estanques. El Amonio presentó 0.4 de concentración en ambos estanques para la primera toma del mes de octubre, mientras que para la segunda toma del mes de octubre se registró una variación de amonio en el estanque 5 de 0.4 a 2.6, posiblemente por que el estanque estaba siendo manipulado por el personal de la empresa ya que en ese momento se encontraban cosechando las especies. De acuerdo a Jaramillo Bolaños et al (2015) el amonio y el oxígeno disuelto del agua evidenció una variación 10.6 en el estanque 4 coincidiendo con mis resultados. Posiblemente por haber tomado la muestra a medio día lo cual el fitoplancton se encuentra en su mayor actividad haciendo que sea más el consumo de oxígeno. El nivel se reguló en 3.15 para la segunda muestra tomada (Tabla 1).

Por último, el resultado del cloro durante las dos muestras tomadas en el mes de octubre del 2020, fue siempre de 0, manteniendo así las condiciones de los estanques en buen estado (Tabla 1).

Tabla 1 Variables fisicoquímicas mes de octubre temporada de lluvia

variable fisicoquimico	numero de estanque	fecha toma de muestras temporada de lluvia		Rango de kit marca HACH FF1*
		15/10/2020	29/10/2020	
Ph	4	7.3	7.5	4–10 pH units
Temperatura	4	31 C°	31C°	15-22 C°
Nitritos	4	0.2	0.4	0–0.4 mg/L NO ₂ -N
Amonio	4	0.4	0.4	0-3.0 MH ₃ -N
Oxigeno disuelto	4	10.6	3.15	0–4, 0–20 mg/L O ₂
Cloro	4	0	0	0–150, 0–600 mg/L Cl-
Ph	5	7.3	7.5	4–10 pH units
Temperatura	5	31C°	31C°	15-22 C°
Nitritos	5	0.2	0.8	0–0.4 mg/L NO ₂ -N
Amonio	5	0.4	2.6	0-3.0 MH ₃ -N
Oxigeno disuelto	5	4.2	6.6	0–4, 0–20 mg/L O ₂
Cloro	5	0	0	0–150, 0–600 mg/L Cl-

4.2 Determinación cualitativa y cuantitativa de microalgas

Se identificaron los siguientes grupos: Clorofitas, Cianófitas y Diatomeas identificando con ayuda de guías taxonómicas las especies: *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Oscillatorias*, *Naviculas* y *Coenocystis* (Figura 5 y 6). Con un promedio de especies observadas por estanque de 145,2 en el estanque 4 y 182 en el estanque 5 (Tabla 2).

Una vez identificadas las especies presentes en la primera observación y por conteo manual se determinó que las microalgas *Scenedesmus* y *Chlorella vulgaris* son especies abundantes tanto en el estanque 4 como en el 5. Según trabajos investigativos como el de Peñafiel Bonilla & Quilla Rochina (2019)., Esteban (2020) y Prieto (2013) estas dos especies son unas de las más estudiadas y producidas para alimentación en la acuicultura a nivel mundial son catalogadas por poseer un mejor manejo, mayor digestibilidad y control poblacional además de

esto cumple con altos niveles de ácidos grasos y de β -carotenos que ayudan a un óptimo desarrollo de la especie cultivada. Lo que enfoca este trabajo a posicionar estas dos especies de microalgas en una identificación ecológica más profunda para la utilización como alimento vivo a futuro en la empresa Acuacultivos El Guajaro.

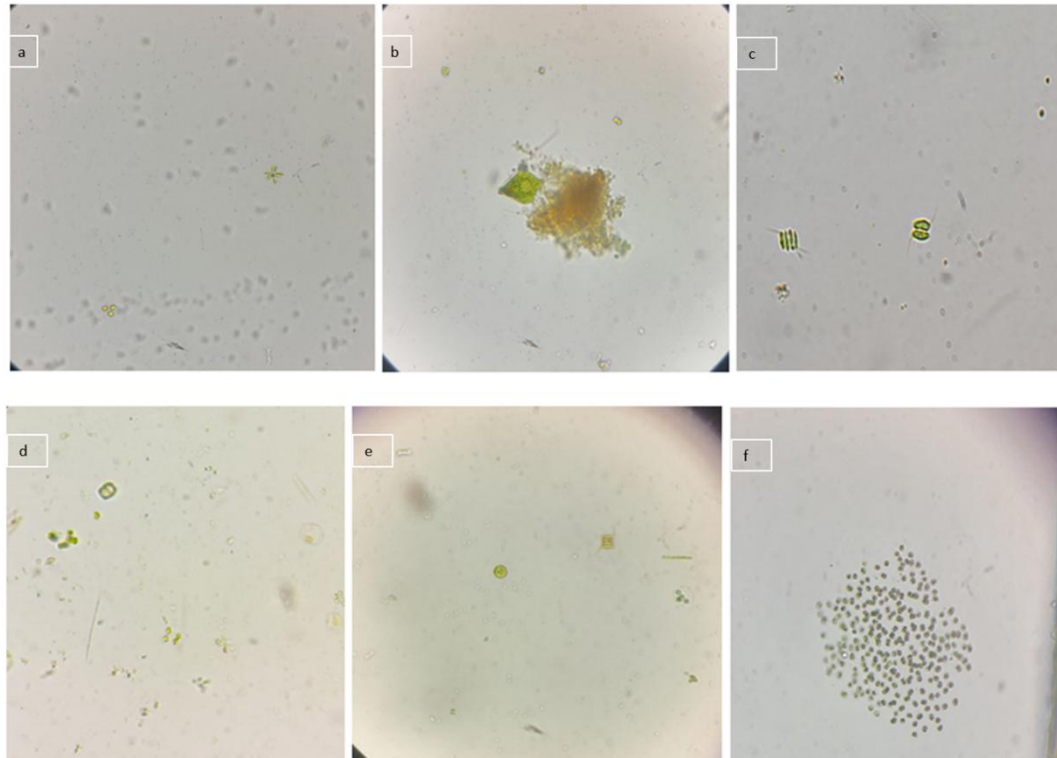


Figura 5 Observación en 40X, presencia de microalgas en las muestras de agua. a y b) Clorofitas c) Scenedesmus. d) Coenocystis. e) Chlorella sp. f) Chlorella vulgaris.

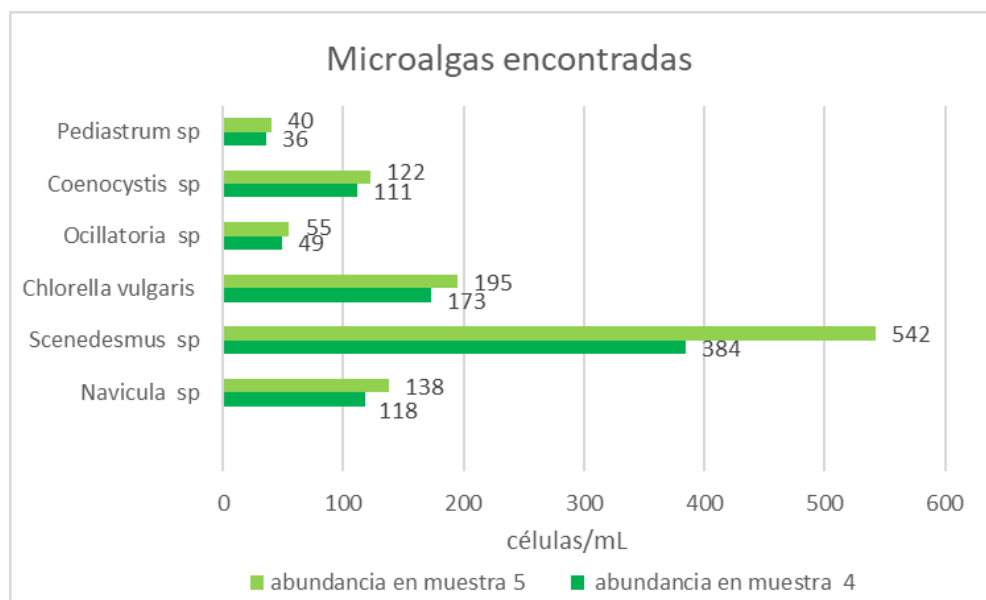


Figura 6 Representación barras de cantidad y especies encontradas en estanque 4 (color verde oscuro) y estanque 5 (color verde claro).

Tabla 2 Abundancia de muestras y promedio de especies (estanque 4 y 5 cel/mL)

Especie	abundancia en muestra 4	abundancia en muestra 5
<i>Navicula sp</i>	118	138
<i>Scenedesmus sp</i>	384	542
<i>Chlorella vulgaris</i>	173	195
<i>Ocillatoria sp</i>	49	55
<i>Coenocystis sp</i>	111	122
<i>Pediastrum sp</i>	36	40
Promedio	145,2	182

4.3 Conteo Cámara Neubauer

En el estanque 4 de agua filtrada se registró 107. 500 cel/mL de *Scenedesmus*. y 102.500 cel/mL de *Chlorella vulgaris*, identificando que la especie *Scenedesmus*. es mayor en cantidad que la *Chlorella vulgaris*. En la muestra sin filtrar del mismo estanque 4 la cantidad de

Scenedesmus. fue de 152.000 células/mL y para la especie *Chlorella vulgaris* fue de 135.000, celu/mL teniendo un valor mayor con la especie *Scenedesmus*.

Para el estanque 5 de agua filtrada se registró 127. 500 celu/mL de *Scenedesmus* y 160.000 cel/mL de *Chlorella vulgaris*. En la muestra sin filtrar la especie *Scenedesmus sp* registro 122.500 cel/mL y *Chlorella vulgaris* 150.000 cel/mL, determinando que la especie *Chlorella vulgaris* es más abundante en el agua filtrada que en la sin filtrar (tabla 2). La especie *Chlorella vulgaris* sigue superior a *Scenedesmus*. en ambos estanques de policultivo de la empresa Acuacultivos El Guajaro.

Tabla 3 Conteo Cámara Neubauer

Conteo Cámara Neubauer muestra 4 fijada especie <i>Scenedesmus sp</i>		Conteo Cámara Neubauer muestra 4 fijada especie <i>Chlorella vulgaris</i>		Conteo Cámara Neubauer muestra 5 fijada especie <i>Scenedesmus sp</i>		Conteo Cámara Neubauer muestra 5 fijada especie <i>Chlorella vulgaris</i>	
9	11	5	9	7	15	11	18
13	19	11	16	12	17	12	23
43 x10000/ 4 = 107 500 celulas/mL.		41x10000/ 4 = 102 500 celulas/mL.		51 x10000/ 4 = 127 500 celulas/mL.		64 x10000/ 4 = 160 000 celulas/mL.	
Conteo Cámara Neubauer muestra 4 sin fijar especie <i>Scenedesmus sp</i>		Conteo Cámara Neubauer muestra 4 sin fijar especie <i>Chlorella vulgaris</i>		Conteo Cámara Neubauer muestra 5 sin fijar especie <i>Scenedesmus sp</i>		Conteo Cámara Neubauer muestra 5 sin fijar especie <i>Chlorella vulgaris</i>	
11	13	10	12	12	11	13	10
16	21	16	16	10	16	15	22
61x10000/ 4 = 152 500 celulas/mL.		54 x10000/ 4 = 135 500 celulas/mL.		43 x10000/ 4 = 122 500 celulas/mL.		60 x10000/ 4 = 150 000 celulas/mL.	

4.4 Diversidad de Shannon e índice de Margalef.

Según Moreno (2001). Si $H=0$ solamente cuando hay una sola especie en la muestra y H es máxima cuando las especies están representadas por el mismo número de individuos. El valor máximo suele estar cerca al 5. Por lo antes descrito, se puede decir que la diversidad y la riqueza biológica de las especies de fitoplancton es baja ya que el índice de diversidad de Shannon está abajo del intervalo de 3.

Tabla 4 Índice de diversidad de Shannon.

Especie	Nro. Individuos estanque 4	Pi	Pi*LnPi
Navicula sp	118	0,14	-0,27
Scenedesmus sp	384	0,44	-0,36
Chlorella vulgaris	173	0,20	-0,32
Ocellularia sp	49	0,06	-0,16
Coenocystis sp	111	0,13	-0,26
Pediastrum sp	36	0,04	-0,13
sumatoria	871	1,00	-1,51
			-1
H (Shannon)			1,51

Especie	Nro. Individuos estanque 5	Pi	Pi*LnPi
Navicula sp	138	0,13	-0,26
Scenedesmus sp	542	0,50	-0,35
Chlorella vulgaris	195	0,18	-0,31
Ocellularia sp	55	0,05	-0,15
Coenocystis sp	122	0,11	-0,24
Pediastrum sp	40	0,04	-0,12
Smatoria	1092	1,00	-1,43
			-1,00
H (Shannon)			1,43

La riqueza de especies está determinada por la cantidad de especies encontradas y la variedad de estas o solamente cuando hay una sola especie en la muestra y H es máxima cuando las especies están representadas por el mismo número de individuos. El valor máximo suele estar cerca al 5 (Moreno, 2001). Como se observa en la tabla 4 los estanques 4 y 5 presenta un índice de diversidad bajo con un valor por debajo de 5.

Tabla 5 Índice de diversidad de Margalef.

Riqueza específica (índice de Margalef)		
Especie	abundancia en muestra 4	
<i>Navicula sp</i>	118	
<i>Scenedesmus sp</i>	384	
<i>Chlorella vulgaris</i>	173	
<i>Ocillatoria sp</i>	49	
<i>Coenocystis sp</i>	111	
<i>Pediastrum sp</i>	36	
número de especies	6	871

$$D_{mg} = \frac{6 - 1}{\ln(871)} = \frac{5}{6.01} = 0.99$$

Riqueza específica (índice de Margalef)		
Especie	abundancia en muestra 5	
<i>Navicula sp</i>	138	
<i>Scenedesmus sp</i>	542	
<i>Chlorella vulgaris</i>	195	
<i>Ocillatoria sp</i>	55	
<i>Coenocystis sp</i>	122	
<i>Pediastrum sp</i>	40	
número de especies	6	1092

$$D_{mg} = \frac{6 - 1}{\ln(1092)} = \frac{5}{6.99} = 0.71$$

4.5 Discusión

Los valores de pH del agua muestran un cuerpo de agua básico, producto del encalado al que es sometido el estanque antes de llenado para una nueva producción, el valor de 7.3 a 7.5 se mantuvo estable durante las dos tomas del mes de octubre en los estanques 4 y 5. A diferencia del oxígeno disuelto y el amonio que tuvo una variación bastante elevada en la primera muestra del mes de octubre.

Respecto a los demás parámetros como cloro, temperatura y nitritos en las dos tomas realizadas se observó un equilibrio estable de los parámetros fisicoquímicos a pesar de tener incidencias de lluvias. El control de los parámetros fisicoquímicos dentro de la empresa Acuacultivos el Guajaro es rigurosa debido a la alta demanda y calidad de las especies que comercializan.

Resultados similares de Jaramillo Bolaños et al, (2005) investigaron la ecología del lago artificial para la cría de Pirarucú en la Estación Piscícola de la Granja Santo Domingo de Florencia- Caquetá, en el cual relacionaron variables fisicoquímicas (temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto) y seis muestras biológicas (fitoplancton) en época baja de precipitaciones (noviembre) como resultado obtuvieron mayor abundancia de microalgas de Cyanophyceae y Chlorophyceae también teniendo una relación con el fitoplancton que se identificó en este trabajo el cual las microalgas más abundantes en los estanques 4 y 5 fueron *Chlorella vulgaris*-*Scenedesmus* por el método de observación y conteo en Cámara Neubauer.

En cuanto a los índices de diversidad y abundancia el resultado fue inferior a 3 para ambos estanques, dependiendo este resultado a las pocas especies encontradas de cada estanque y a la baja diversidad. Es necesario tener en cuenta más muestreos, más número de estanques para que la muestra sea mas significativa.

Se requiere de una siembra en laboratorio de las dos especies de microalgas abundantes (*Chlorella vulgaris*- *Scenedesmus*) brindando las condiciones adecuadas que garanticen una profunda identificación. Según Prieto (2013) para tener un estudio relacionado con microalgas en la acuicultura debe ser primordial caracterización fisicoquímica, la obtención y adaptación de siembra de las diferentes cepas recolectadas en los medios acuáticos y tener la caracterización de crecimiento poblacional en condiciones de laboratorio que determinen los requerimientos nutritivos adecuados en el mantenimiento de cada cepa y así establecer la aceptabilidad como partícula alimenticia en la acuicultura.

Estudios que realizaron autores como Peñafiel Bonilla & Quilla Rochina (2019), Peraza Escarrá, (2017) y Jaramillo Bolaños et al ., (2005) potencializaron las microalgas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus* como alimento vivo, realizaron extracción de muestras de agua de estaciones piscícolas, lagunas y embalses, y con una ardua investigación descubrieron la composición nutricional, establecieron los parámetros fisicoquímicos estables en medio natural y los replican en laboratorio, llegando a resultados en común con este trabajo que las microalgas como *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus sp* son especies de distribución tropicales, de buen manejo en áreas naturales y en laboratorio, su gran carga de lípidos y ácidos grasos las hace esenciales en la alimentación de larvas como crustáceos, moluscos y peces.

5. CONCLUSIÓN

Los parámetros fisicoquímicos observados temperatura, cloro se encontraron óptimos para el crecimiento de las microalgas y el desarrollo de las especies producidas. El amonio y el oxígeno disuelto se observaron con valores superiores que pudieron afectar en el momento el crecimiento del fitoplancton en los estanques.

El promedio de especies totales observadas fue 145,2 % en el estanque 4 y 182 % en el estanque 5 encontrándose una abundancia de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus* en los estanques 4 y 5.

La diversidad de acuerdo al índice de Shannon y Margalef registrado en los estanques 4 y 5 fueron bajos, ya que el número de especies encontradas estaban por debajo de 3 indicativo de la fórmula que establece diversidad y abundancia alta.

6. RECOMENDACIONES

Realizar futuros análisis de fitoplancton en las dos temporadas faltantes para determinar si los grupos de microalgas existentes persisten en los dos estanques de policultivo.

Realizar un cultivo de las dos especies que se encontraron abundantes en este primer muestreo y profundizar la investigación de los componentes de nutrición que pueden aportar a las especies cultivadas.

Mantener una buena calidad de agua, un control de proliferación de microalgas en los estanques para garantizar a las especies cultivadas buena calidad y cantidad de fitoplancton dentro de los estanques.

7. REFERENCIAS

- Ballester Cámara, J. (2021). *Estudio de diferentes alternativas zootécnicas de producción de una granja de peces para minimizar el impacto ambiental*. Universitat Politècnica de Valencia. From <http://hdl.handle.net/10251/159636>
- Arias Valverde, S., Rodríguez Núñez, K., & Ramírez Flores, S. (2015). Producción de fitoplancton para investigación y la docencia en larvicultura de camarones, moluscos y peces, 2008-2013. *Universidad en Dialogo*, 85-99.
- Barreto Pérez, R. (2018). *Evaluación de microalgas para su uso en la elaboración de piensos para acuicultura*. From Facultad de Ciencias experimentales Master en Biotecnología Industrial y Agroalimentaria : http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/7027/TFM_BARRETO%20PEREZ,%20RAUL.pdf?sequence=1
- Campo, A. M., & Duval, V. S. (2014). *Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural*. Parque Nacional Lihúe Calel (Argentina). From <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/download/47071/44140/>.
- Céspedes, A. G. (2015). *¿Qué son las microalgas? interes y uso* . From Fundación CAJAMAR. grupo cooperativo CAJAMAR: <https://www.cajamar.es/pdf/bd/agroalimentario/innovacion/investigacion/documentos-y-programas/microalgas-1444391623.pdf>
- Colorado Gómez , M. A., Moreno Tirado, D. A., & Pérez Posada, J. L. (2013). Desarrollo, producción y beneficio ambiental de la producción de microalgas. La experiencia Guajira, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 113-126.
- Díaz Reyna, G. S., & Prieto Ríos, H. (2015). *Catálogo de Especies de Fitoplancton asociadas a la acuicultura de Tilapias*. From universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. AUNAN- LEÓN : file:///C:/Users/57310/Downloads/Salvador-Prieto_2015_Catalogo_Fitoplanc_Cultivo_Tilapia_Nicaragua.pdf
- Esteban, A. R. (2020). Las microalgas como fuente de nutrientes en vías de desarrollo. *Universidad de alicante*, 36.
- FAO. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad acción*. From <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- Galicia, O. (2018). *Alimentación alternativa en alevines nativas y promisorias de Colombia*. Facultad de medicina veterinario Y Zootecnia. Universidad Cooperativa de Colombia. From <https://repository.ucc.edu.co/>
- García Blásquez, L. T., Hernández Acevedo, H. E., & Aguirre Obregón , M. A. (2018). *Manual para obtención de cepas de microalgas*. Perú: Instituto del mar del Perú.
- García Romeral, J., Pavía Gómez, M., García Sanz, T., Chirivella Martorell, J., & Serrano Aroca, Á. (2017). Principios de biotecnología y Bioingeniería en el cultivo de microalgas: importancia, problemas tecnológicos, tipos y sistemas de cultivos, crecimiento, factores limitantes, selección, aislamiento, escalado y caracterización bioquímica. *Nereis. revista Iberoamericana Interdisciplinar de Metodos Modelización y Simulación* , 115-129.
- García Tisnes, J. A. (2001). *Diseño, Construcción y Adecuación de estanque en tierra* . From <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/>

- Jaramillo Bolaños, L. C., Peláez Rodríguez, M., & Marín Peña, J. A. (2005). Fitoplancto asociado a cultivos de Pirarucú (arapaima gigas) Estudio de caso granja Santo Domingo (Floencia- Caquetá). *Reserchgate*, 8. From Universidad de la Amazonia .
- Jaramillo Bolaños, L. C., Peláez Rodríguez, M., & Marín Peña, J. A. (2015). Fitoplancton asociado a cultivos de Pirarucú (arapaima gigas). Estudio de caso granja Santo Domingo (Floencia - Caquetá). *ResearchGate*, 8.
- Labbé, J. (2014). Microalgae, culture and benefits. *Rev biol mar oceanogr*.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. . *M&T-Manuales y Tesis SEA*, 84.
- Núñez Avellaneda, M., & Marciales Caro, L. J. (2008). *microalgas acuaticas* . Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI.
- Peñañiel Bonilla, L. M., & Quillay Rochina, M. A. (2019). *Producción de alimento vivo con diferentes medios de cultivos como fuente nutritiva para larvas de tilapia (Oreochromis sp.)*. From Universidad estatal amazónica : <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/583/1/T.AGROP.B.UEA.1117.pdf>
- Peraza Escarrá, R. (2017). *diversidad y abundancia de fitoplancton del embalse Abreus (Cienfuegos, Cuba)*. From Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de La Habana y Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos: <https://www.oceandocs.org>
- Pla, L. (2006). biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza . *SCIELO*, 583-590.
- Prieto, M. J. (2013). Plancton regional y su potencial en acuícola. *Centro de Investigaciones Universidad de Córdoba- CIUC facultad de medicina veterinaria y zootecnia departamento de ciencias acuícolas*.
- Quiroz Castelán, H., Solís Pérez, O., García Rodríguez, J., Molina Astudillo, F. I., & Díaz Vargas, M. (2006). Variación de componentes Fitoplanctónicos en un bordo temporal utilizado para acuicultura extensiva en Norte del Estado de Guerrero, Mexico. *REDVET*, 26.
- Sevilla, J. M. (2014). *Ingeniería de Procesos aplicada a la Biotecnología de Microalgas*. From Nutrientes y medios de cultivo de microalgas. Universidad de Amería: <https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/index.html>
- Valer, I. S. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas plancton, perifiton, bentos(macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. From minam.gob.pe.