

# Influence of Culture Conditions on the Growth of Red Macroalgae. A systematic review

Danya Sulay, Vidaurre Castillo<sup>1</sup>, Stephany Mishell, Zavaleta Portilla<sup>1,\*</sup> and Diego, Silva-Chuquipoma<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú, dvidaurrec@ucvvirtual.edu.pe, szavaletapo@ucvvirtual.edu.pe, dsilva@ucvvirtual.edu.pe

\*Corresponding author: dvidaurrec@ucvvirtual.edu.pe (D. Vidaurre); Av. Larco 1770, Trujillo 13008.

*Abstract— The objective of the research is to provide information on the culture conditions that influence the growth of red macroalgae. A systematic review was developed selecting 19 articles, they were distributed according to the specific objectives: reproduction method, environmental parameters and culture systems. Among the reproduction methods, asexual propagation is mostly applied, being the tissue cultures with the highest growth rate (7.01 %/day DGR). The environmental parameters for controlled conditions are maintained between 19-31°C temperature, 40-60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$  of irradiance and natural light hours:darkness, and in the field a temperature of 27-34°C is commonly measured, 28.31 ppt salinity, 6-8 pH, and 5-8 mg/L dissolved oxygen. Among the culture systems, long Line gave higher growth rates (5.84 - 7.01 %/day) than “palangre” (2.8-6.18 %/day) in the case of the most studied species, *Kappaphycus alvarezii*. In conclusion, the method of asexual reproduction, the environmental parameters in culture of temperature, irradiance and light hours:darkness, and field measurements of temperature, salinity, pH and dissolved oxygen; and the use of the Long Line culture system, are the ones that give the highest growth rates for red macroalgae.*

*Keywords—Culture conditions, growth, red macroalgae, parameters, influence.*

# Influencia de las Condiciones de Cultivo en el Crecimiento de las Macroalgas Rojas. Una revisión sistemática

Danya Sulay, Vidaurre Castillo<sup>1</sup>, Stephany Mishell, Zavaleta Portilla<sup>1,\*</sup> and Diego, Silva-Chuquipoma<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú, [dvidaurrec@ucvvirtual.edu.pe](mailto:dvidaurrec@ucvvirtual.edu.pe), [szavaletapo@ucvvirtual.edu.pe](mailto:szavaletapo@ucvvirtual.edu.pe), [dsilva@ucvvirtual.edu.pe](mailto:dsilva@ucvvirtual.edu.pe)

\*Corresponding author: [dvidaurrec@ucvvirtual.edu.pe](mailto:dvidaurrec@ucvvirtual.edu.pe) (D. Vidaurre); Av. Larco 1770, Trujillo 13008.

**Resumen—** El objetivo de la investigación es brindar información sobre las condiciones de cultivo que influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas. Se desarrolló una revisión sistemática seleccionando 19 artículos, se distribuyeron según los objetivos específicos: método de reproducción, parámetros ambientales y sistemas de cultivo. Entre los métodos de reproducción, se aplica mayoritariamente la propagación asexual, siendo los cultivos de tejidos los de mayor tasa de crecimiento (7,01 %/día DGR). Los parámetros ambientales para condiciones controladas se mantienen entre 19-31°C de temperatura, 40-60  $\mu\text{mol}$  fotones  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  de irradiancia y luz natural horas:oscuridad, y en el campo se mide comúnmente una temperatura de 27-34°C, 28,31 ppt de salinidad, 6-8 pH y 5-8 mg/L de oxígeno disuelto. Entre los sistemas de cultivo, Long Line presentó mayores tasas de crecimiento (5,84 - 7,01 %/día) que “palangre” (2,8-6,18 %/día) en el caso de la especie más estudiada, *Kappaphycus alvarezii*. En conclusión, el método de reproducción asexual, los parámetros ambientales en cultivo de temperatura, irradiancia y horas de luz: oscuridad, y mediciones de campo de temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto; y el uso del sistema de cultivo Long Line, son los que dan las mayores tasas de crecimiento para las macroalgas rojas.

**Palabras clave—** Condiciones de cultivo, crecimiento, macroalgas rojas, parámetros, influencia.

## I. INTRODUCCIÓN

Las algas marinas están generando gran interés debido a sus compuestos derivados y/o bioactividades, usados como materia prima para productos industriales, como carragenina [3]. Por ende, se proponen sistemas acuícolas confiables y resistentes ante episodios climáticos y que a su vez garanticen un equilibrio sostenible [19], por lo cual debe incluirse también a la población cercana para unir el conocimiento tradicional con el científico [11]. Según la FAO en el año 2018, la producción en todo el mundo de macroalgas se triplicó con respecto al año 2000, pasando de ser 10,6 a 32,4 millones de toneladas [18]. Las macroalgas se encuentran en los ecosistemas de la costa marina, siendo seres autótrofos pertenecientes a la base de la cadena alimenticia marina, estas se clasifican en *Chlorophyta* (algas verdes), *Ochrophyta* (algas pardas) y *Rhodophyta* (algas rojas), siendo esta última el grupo más amplio en la mayoría de los ecosistemas marinos [15].

Según el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) las macroalgas son un recurso demandado debido a su uso alimenticio y como materia prima para la obtención de carragenanos, agar y alginatos; en la costa Peruana se identifican como especies de interés comercial a la especie *Chondracanthus chamosoi* “yuyo”, *Gracilariopsis lemaneiformis* “pelillo”, *Porphyra/Pyropia* “cochayuyo” [15]

En cuanto a su crecimiento, es de suma relevancia conocer las condiciones naturales que necesitan como nutrientes e irradiancia, ya que tienen una gran dependencia a la densidad de crecimiento de las algas, lo que permite aumentar las tasas de crecimiento en la acuicultura [55], ya que no se tiene en cuenta los períodos de crecimiento óptimos para la extracción de las macroalgas [46].

La presente investigación se justificó en la importancia de las macroalgas como recurso alimenticio, materia prima y como parte del equilibrio del ecosistema marino, por ello, es de importancia conocer las condiciones de cultivo que requieren para su crecimiento adecuado, ya que muchos de los productores artesanales no poseen una base de información amplia sobre este tema lo que pone en riesgo la continuidad y supervivencia de las especies de macroalgas rojas.

Por tanto, se planteó la siguiente pregunta: ¿Qué condiciones de cultivo influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas? y en cuanto a las preguntas específicas: ¿Cuáles son los métodos reproductivos que influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas en cultivos controlados y campo?, ¿Cuáles son los parámetros ambientales que influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas en cultivos controlados y campo? y ¿Cuáles son los sistemas de cultivo que influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas en cultivos en campo?. Con ello se planteó como objetivo general analizar las condiciones de cultivo que influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas; asimismo los objetivos específicos fueron identificar los métodos reproductivos que influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas en cultivos controlados y campo, identificar los parámetros ambientales que influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas en cultivos controlados y campo e identificar los sistemas de cultivo que influyen

en el crecimiento de las macroalgas rojas en cultivos en campo.

## II. METODOLOGÍA

Conforme a los objetivos y problemas abordados en relación al tema de estudio, se especificaron las categorías, subcategorías como métodos de reproducción: reproducción asexual y sexual, en cuanto a la categoría parámetros ambientales en cultivos controlados se identificaron a la temperatura, horas luz: oscuridad e irradiación, y en cultivos en campo, se identificaron a la temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto, en la categoría sistema de cultivo se identificó al sistema “Long Line”

En este estudio se evaluaron la influencia de las condiciones de cultivo en el crecimiento de las macroalgas rojas, a través de la recopilación de información. Para tal fin se seleccionaron las siguientes palabras claves: ("cultivate" OR "farm") AND ("condition" OR "factor") AND ("growth") AND ("red seaweed" OR "red macroalgae" OR "rhodophyta"), esta cadena de búsqueda se ingresó en la base de datos Scopus excluyendo el siguiente término: "microalgae" y limitando los resultados a “all open access” y solo documentos entre los años 2018 y 2022. Los documentos resultantes fueron revisados y pasaron por un proceso de descarte teniendo como siguiente criterio de inclusión los objetivos planteados en la presente investigación: Tipos de cultivo, condiciones de cultivo controladas y naturales; y parámetros Ambientales usados para el cultivo de macroalgas rojas. Los artículos que cumplen con los criterios de inclusión, se interpretaron, analizaron y tuvieron en cuenta para los resultados de la presente investigación, siendo estos 19 artículos.

En el estudio planteado, la credibilidad se ve reflejada en los artículos extraídos de fuentes indexadas, donde se han hecho estudios en medio natural y en medios controlados respecto a cultivo de macroalgas rojas, donde se identificaron la influencia de sus condiciones de cultivo en su crecimiento.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la Tabla 1, existen dos métodos reproductivos aplicados para la propagación de las macroalgas rojas: Propagación asexual y sexual. Se identificó que para condiciones controladas como para condiciones en campo, la propagación asexual es mayormente aplicada en estudios del cultivo de las macroalgas rojas, con ello se obtienen mejores resultados en la especie *Asparagopsis armata* el uso de frondas con

púas [55], *Neoporphyra yezoensis* [44] y *Pyropia haitanensis* [56] el uso de cepas en la etapa de conchocelis, para *Euchema denticulatum* el uso de propágulos vegetativos [39], para *Chondracanthus Chamissoi* tiene buenos resultado el uso de discos de fijación secundaria [49], para *Kappaphycus alvarezii*, especie ampliamente estudiada, los cultivos de tejidos evidenciaron una mayor tasa de crecimiento (7,01 %/día DGR) a comparación de otros tipos de propagación.

A pesar de que se pueden obtener individuos maduros entre los 30 a 60 días con las características de color y/o tamaños que los acuicultores requieran con la propagación vegetativa por esquejes en las especies *Kappaphycus sp.* y *Eucheuma sp.* y además de las bajas tasas de crecimiento, es importante tener en cuenta que el uso de este tipo de reproducción puede conllevar a deficiencias en la supervivencia de las especies y se vuelvan más susceptibles ante enfermedades, infestaciones y patógenos [30] Por ello, en la especie *Kappaphycus alvarezii* se aplica preferentemente la propagación a través del cultivo de tejidos, refiriendo a la regeneración de *K. alvarezii* con el mismo espécimen cultivado a través de una embriogénesis somática [9]. Asimismo, se menciona que el cultivo de tejido es la mejor solución ya que es comercialmente factible por el suministro y disponibilidad continua de especímenes [47].

Por otro lado, se ve aplicada la reproducción sexual en especies como *Palmaria palmata* y *Chondracanthus Chamissoi*, haciendo uso de esporas. Este método tiene como ventaja el asentamiento en sustratos artificiales (cuerdas, redes, etc.) o naturales (piedras, valvas, etc.) [1], sin embargo, en los estudios revisados este tipo de reproducción presenta bajas tasas de crecimiento que no son rentables comercialmente, pero aún es de requerimiento que se realicen mayores investigación sobre este tipo de reproducción que permitan concluir de manera certera si es conveniente o no su aplicación, en que tipo de especies y con qué metodología, con la finalidad de preservar la supervivencia de la especie y sea de utilidad para la acuicultura de las macroalgas rojas.

TABLA 1  
Métodos reproductivos que influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas en cultivos controlados y campo.

AUTOR	ESPECIE	TIPO DE CULTIVO	MÉTODO REPRODUCTIVO		CRECIMIENTO	
			TIPO	PROPAGACIÓN	VALOR	UNIDAD - TIEMPO
[55]	<i>Asparagopsis armata</i>	Controlado	Asexual	Frondas con púas	Sin epífitas y crecimiento	120 días

					duplicado	
[44]	<i>Neoporphyra yezoensis</i>	Controlado	Asexual	Cepas de etapa conhocelisis	120 mm largo	150 días
[56]	<i>Pyropia haitanensis</i>	Controlado	Asexual	Cepas de etapa conhocelisis	0,3-0,4 %/día	Tasa de Crecimiento Específica (SGR) - 15 días
[39]	<i>Euchema denticulatum</i>	Campo	Asexual	Propágulos Vegetativos	1.85 ±0,54%/día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 180 días
[32]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Campo	Asexual	Tejidos	6,3%/día	Tasa de Crecimiento Específica (SGR) - 40 días
				Clonación	6,7%/día	
[8]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Campo	Asexual	Tejidos	7,01±0,63 % /día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 35 días
[2]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Campo	Asexual	Profesional	5,98 % /día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 45 días
				Tejidos	6,18 % /día	
				Cepa	5,82 % /día	
[47]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Campo	Asexual	Plántulas Micropropagadas	4,6 %/día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 35 días
[49]	<i>Chondracanthus Chamissoi</i>	Controlado	Asexual	Discos de Unión Secundaria (SAD)	4.0 ± 0.2 %/día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 83 días
[51]	<i>Palmaria palmata</i>	Controlado	Sexual	Esporas y soros	36 ± 8 por 4 cm	Densidad de promedio de plántulas
[4]	<i>Chondracanthus chamissoi</i>	Controlado	Sexual	Carpoesporas	31 plántulas/cm2	Densidad de promedio de plántulas
[56]	<i>Palmaria palmata</i>	Controlado	Sexual	Esporas	1%	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 150 días

A continuación, se presenta la Tabla 2 donde se mencionan los principales parámetros ambientales para una óptima tasa de crecimiento de las macroalgas rojas, tanto para cultivos controlados y en campo.

TABLA 2

Parámetros ambientales que influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas en cultivos controlados

AUTOR Y AÑO	ESPECIE	TEMPERATURA (°C)	HORAS LUZ:OSCURIDAD	IRRADIACIÓN (μmol fotones m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	CRECIMIENTO	
					VALOR	UNIDAD - TIEMPO
[56]	<i>Pyropia haitanensis</i>	29	8:16	10-20	0,3-0,4 %/día	Tasa de Crecimiento Específica (SGR) - 15 días
[55]	<i>Asparagopsis armata</i>	11	12:12	40-60	200%	120 días
[36]	<i>Palmaria palmata</i>	12	16:8	60 ± 8	1%	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 150 días
[4]	<i>Chondracanthus Chamissoi</i>	19-22	16:8	40-60	31 plántulas/cm2	Densidad de promedio de plántulas
[49]	<i>Chondracanthus Chamissoi</i>	19	N.E.	40-60	4.0 ± 0.2 %/día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 83 días
[43]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	31.7	12:12	506 ± 61,4	0.44 - 3,74 %/día	Tasa de Crecimiento Relativa Porcetual Media (%RGR) - 42 días
[35]	<i>Agardhiella subulata</i>	22-31.5	N.E.	N.E.	8.67 ± 2.99 %/día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 15 días

A pesar de la diversidad de enfoques de investigación de las macroalgas rojas, se identifican que los parámetros ambientales controlados en el cultivo son la temperatura, horas luz: oscuridad y la irradiación.

En cuanto a la temperatura se observó un rango promedio para las macroalgas rojas de 19 a 31 °C, a excepción de los estudios de la especie *Palmaria Palmata* que por ser de reproducción por esporas requieren en un inicio de temperaturas bajas.

Las altas temperaturas y la radiación UV reducen la pigmentación de las macroalgas como la *K. alvarezii*, asimismo, se identifica en su estudio los bajos resultados en la tasa de crecimiento por los altos valores en estos parámetros, por otro lado cuando la temperatura se

mantiene alrededor de los 20° C se obtienen tasas de crecimiento óptimas como es el caso de la especie *C. Chamosoi* (4 %/día DGR) [43], siendo hasta los 25°C considerada como una temperatura que influye de manera positiva en las macroalgas reduciendo el estrés por el método reproductivo empleado, ya que entre los 30 a 35°C en más de 3 semanas no sobreviven las algas [9]. Por otro lado, afectan la productividad de las esporas, disminución de carragenina, disminución de la tasa de crecimiento de la macroalga, fotosíntesis, entre otros [48].

Asimismo, la irradiación es otro factor importante a tener en cuenta siendo los de mejores resultados de tasa de crecimiento entre los 40-60 µmol fotones m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, esto va relacionado con las horas luz: oscuridad que se le otorgue asemejándose a sus condiciones naturales. El rango identificado en la revisión concuerda con la bibliografía encontrada, así como, la importancia de mantener alrededor de 50 µmol de irradiación y una exposición a la iluminación (12:12) que permita la correcta fotosíntesis de la especie de macroalga roja [9].

En cuanto al suministro de nutrientes, esta condición es poco evaluada por los autores. Sin embargo, se menciona que favorecen el crecimiento y el aumento del contenido de clorofila de las macroalgas [43] pudiendo proporcionar fácilmente de manera artificial (medios de cultivo) o a través de la recirculación del agua en el cultivo [55].

De acuerdo a la Tabla 3. Se observa que para las especies de macroalgas rojas cultivadas en campo, las investigaciones consideran mayormente la medición de los parámetros ambientales como temperatura (°C), salinidad (ppt), pH y Oxígeno Disuelto (mg/L).

Para la especie *Eucheuma Denticulatum* en una tasa de crecimiento diaria del 1.85 % sus mediciones resultaron 29.14 °C, 34 - 35 ppt, 7.86 - 8.01 pH, 5.05 - 6.77 mg/L [40], para la tasa de crecimiento óptima de la especie *Kappaphycus alvarezii* se identificó rangos de entre 27- 33 °C, 29 - 36 ppt, 7 - 8 pH, 5 - 8 mg/l.

Es importante tener en cuenta estos rangos dentro de los parámetros ambientales, ya que como lo visto en la revisión si se mantienen puede dar tasas de crecimiento favorables para las distintas especies de macroalgas rojas. Por ejemplo, la temperatura del mar es uno de los parámetros frecuentemente considerados, ya que es susceptible y variable conforme a las condiciones hidrológicas (lluvia y evaporación) y meteorológicas (temperatura del aire, radiación, velocidad del viento y corriente), asimismo la salinidad que varía conforme a las estaciones y el lugar donde se evalúa, el pH varía por el ingreso de tierra al medio acuático; por ello, el cultivo de macroalgas rojas es un gran regulador del pH y el OD por las capacidad de fijación de carbono y evolución fotosintética de oxígeno que estas presentan [34]. Además, de acuerdo a la especie de macroalga roja cultivada, esta se puede ver influenciada relevantemente por la temperatura del agua, la salinidad, el pH y los nutrientes (amoníaco, nitrato y fosfato) presentes en el medio; caso contrario se observarán alteraciones en el crecimiento y características de la especie [39]. Con respecto a los nutrientes, se puede observar que existe una deficiencia en cuanto a la información encontrada para su adecuación en las condiciones de cultivo que se quieran emplear.

TABLA 3

Parámetros ambientales que influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas en cultivos en campo.

AUTOR Y AÑO	ESPECIE	TEMPE RTURA (°C)	SALINIDAD (ppt)	pH	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	CRECIMIENTO		NUTRIENTES		
						VALOR	UNIDAD - TIEMPO	NITRATO NO3- (µg/L)	FOSFATO PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µg/L)	AMONIO NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µg/L)
[40]	<i>Euchema denticulatum</i>	29.14	34-35	7.86-8.01	5.05- 6.77	1.85 ±0,54 %/día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 180 días	0.26	0.03	0.06
[32]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	27-30	30-34	N.E.	N.E.	6,3%/día	Tasa de Crecimiento Específica (SGR) - 40 días	0.01-0.02	0.00069 - 0.004	N.E.
[31]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	27.58 - 27.78	31.55-31.73	8.05-8.25	5.37-5.51	3,33 ± 0.08 % /día	Tasa de Crecimiento Específica (SGR) - 42 días	0.12 - 0.29	N.E.	4.21 - 6.44
[8]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	28-31	30-31	N.E.	N.E.	7,01±0,63 % /día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 35 días	N.E.	N.E.	N.E.

[7]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	28-32	29-33	N.E.	N.E.	5,84 %/día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 45 días	0.263-0.463	0.112-0.218	N.E.
[20]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	29-31	30-35	N.E.	N.E.	6,00 ± 1,19 %/día,	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 45 días	0.65-3.36	0.03-0.043	N.E.

En la siguiente tabla se muestran los sistemas de cultivo que influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas en cultivos en campo.

TABLA 4

Sistemas de cultivo que influyen en el crecimiento de las macroalgas rojas en cultivos en campo.

AUTOR Y AÑO	ESPECIE	MÉTODO	CRECIMIENTO	
			VALOR	UNIDAD - TIEMPO
[39]	<i>Euchema denticulatum</i>	Long Line	1.85 ±0,54%/día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 180 días
[52]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Long Line	2.8 ±0,124 kg.m-1	Diferencia del Peso final e inicial por metro lineal (45 días)
[32]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Red Horizontal	6,3%/día	Tasa de Crecimiento Específica (SGR) - 40 días
[31]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Long Line	3,33 ± 0.08 % /día	Tasa de Crecimiento Específica (SGR) - 42 días
[8]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Long Line	7,01±0,63 % /día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 35 días
[2]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Long Line	6,18 % /día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 45 días
[7]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Long Line	5,84 %/día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 45 días
[20]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Long Line	6,00 ± 1,19 %/día,	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 45 días
[47]	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Long Line	4,6 %/día	Tasa de Crecimiento Diario (DGR) - 35 días

[25]	<i>Gracilariaria sp.</i>	Long Line	5,82 g/día	Tasa de Crecimiento Específica (SGR) - 150 días
------	--------------------------	-----------	------------	---

Conforme a la Tabla 4, los sistemas de cultivos más usados para la macroalgas rojas son el cultivo Long Line, el cual es un sistema trapezoidal formada de una línea madre suspendida con boyas y fijada con anclaje, de esta se extienden líneas secundarias verticales (reinales) [37]. Para las distintas especies de macroalgas rojas el cultivo Long Line da altas tasas de crecimiento, siendo la mayor de 7,01±0,63 % /día con la especie *Kappaphycus alvarezii*, esto concuerda con la preferencia de los agricultores por este método que les permite emplear materiales con mayor duración y fáciles de obtener, beneficiando las condiciones de iluminación para el crecimiento adecuado de las especies [6].

Otra condición a tener en cuenta para el cultivo en campo es la mencionada en el estudio de la especie *Kappaphycus alvarezii*, en el cual resalta a la enfermedad como “hielo-hielo” el cual torna blanquecinas parte de la ramificación del alga hasta deshacerla, se conjetura que la especie *Sargassum*, especie epífita, adherida a los talos de algas es la causante de la enfermedad [20]. Por ello, es de importancia la supervisión y mantenimiento constante del cultivo para evitar o contrarrestar la aparición de especies epífitas, ya que esta puede dificultar el crecimiento y la supervivencia de la macroalga roja en su hábitat natural.

#### IV. CONCLUSIONES

Se identificaron para las macroalgas rojas dos métodos reproductivos asexual, siendo el cultivo de tejidos el de mayor tasa de crecimiento (7,01 %/día DGR) y sexual (esporas), de entre los cuales es de mayor aplicación tanto para los cultivos controlados y de campo, el método asexual debido a su alta tasa de crecimiento en menor tiempo.

Se identificaron los parámetros ambientales para las macroalgas rojas, en cuanto al cultivo controlado la temperatura, irradiancia y horas luz:oscuridad, con valores de 19 - 31 °C, 40 - 60 μmol fotones m-2s-1 y horas luz: oscuridad naturales, respectivamente. Mientras que para cultivo en campo se identificó la medición de la temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto con valores de 27 - 34 °C, 28 - 36 ppt, 6 - 8 pH y 5 - 8 mg/L,

respectivamente. Asimismo, es importante considerar la investigación de la influencia de los nutrientes y las cantidades requeridas para el óptimo crecimiento de las macroalgas rojas.

Se identificó que el sistema de cultivo más empleado es el Long Line, obteniéndose una tasa de crecimiento diario  $7,01 \pm 0,63$  %/día por su facilidad de adquisición de los materiales y mejores condiciones de iluminación para las macroalgas rojas.

## REFERENCES

- [1] ACUIPESCA PERÚ. (2021). Diversificación acuícola hacia el cultivo de macroalgas- CETMAR. Disponible en: <https://cetmar.org/wp-content/uploads/2021/07/DiversificacionAcuicolaMacroalgas.pdf>. ISBN: 978-612-48529-0-9
- [2] O. Aeni, et al. (2019). Effect of different seedling sources on growth and carrageenan yield of seaweed *kappaphycus alvarezii* cultivated in Marobo Waters, Muna Regency, Southeast (Se) Sulawesi, Indonesia. USN Kolaka-ADRI International Conference on Sustainable Coastal-Community, Vol 382, Diciembre 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/382/1/012015>
- [3] A. Alemañ, Alejandro; D. Robledo y L. Hayashi, Development of seaweed cultivation in Latin America: current trends and future prospects. *Phycologia*, Vol 58, p.467, Septiembre 2019. <https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1640996>
- [4] S. Arbaiza, et al. First stages of cultivation from *chondracanthus chamosoi* carpospores from three locations on the peruvian coast. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, Vol 54, Agosto del 2019. <https://doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.2.1901>
- [5] J. Arias y M. Covinos. Diseño y Metodología de la investigación. Junio del 2021. [https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/2260/1/Arias-Covinos-Dise%C3%B1o\\_y\\_metodologia\\_de\\_la\\_investigacion.pdf](https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/2260/1/Arias-Covinos-Dise%C3%B1o_y_metodologia_de_la_investigacion.pdf)
- [6] M. Aris y R. Labenia, Evaluation of land suitability of *Kappaphycus alvarezii* cultivation in the dry and rainy season. International Conference on Fisheries and Marine, Vol 584, Octubre 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/584/1/012025>
- [7] Armin, et al. Grafting of *Kappaphycus alvarezii* seedlings using different seedling sources in Sasara Coastal Waters, Buton Utara, Southeast (SE) Sulawesi, Indonesia. The 2nd International Symposium on Marine Science and Fisheries (ISMF2), Vol 370, Diciembre 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/370/1/012043>
- [8] L. Aslan, et al. Field cultivation of *Kappaphycus alvarezii* (DOTY) doty ex silva using tissue-cultured seedlings at bungin permai costal waters, south konawe, Southeast (SE) Sulawesi: The third year of seaweed growth monitoring. The 2nd International Conference on Global Issue for infrastructure, environment & socio-economic development, Vol 473, Mayo 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/473/1/012007>
- [9] A. Azizi, et al. Evaluation of disease resistance and tolerance to elevated temperature stress of the selected tissue-cultured *Kappaphycus alvarezii* Doty 1985 under optimized laboratory conditions. *3 Biotech*, Vol 8, p.2, Agosto 2018. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1354-4>
- [10] G. Bizzaro, A. Vatland y D. Pampanin. The One-Health approach in seaweed food production. *Environment International*, Vol 158, Junio 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106948>
- [11] J. Brakel, et al. Exploring, harnessing and conserving marine genetic resources towards a sustainable seaweed aquaculture. *Plants People Planet*, Vol. 3, n°4, p. 342 Julio 2021. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10190>
- [12] B. Buck, et al. State of the art and challenges for offshore Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Sec. Marine Fisheries, Aquaculture and Living Resources*, Vol 5, mayo del 2018. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00165>
- [13] A. Buschmam y C. Camus, An introduction to farming and biomass utilisation of marine macroalgae. *Phycologia*, Vol 58, Septiembre 2019. <https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1638149>
- [14] M. Camarena, A. Lahteenmaki y K. Spilling, Macroalgae production in Northern Europe: Business and government perspectives on how to regulate a novel blue bioeconomy. *Aquaculture*, Vol 560, Noviembre 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738434>
- [15] P. Carbajal, Guía para el reconocimiento en campo de las macroalgas del Callao. 1° ed. Lima: IMARPE, 2019. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3406>
- [16] S. Corrigan, et al. Cuantificación del aprovisionamiento de hábitat en sitios de cultivo de macroalgas. *Aquaculture*, Vol 14, junio del 2022. <https://doi.org/10.1111/raq.12669>
- [17] C. Duarte, Global estimates of the extent and production of macroalgal forests. *Global Ecology and Biogeography*, 2020 <http://dx.doi.org/10.1111/geb.13515>
- [18] M. Eggertsen y C. Halling, Knowledge gaps and management recommendations for future paths of sustainable seaweed farming in the Western Indian Ocean. *Ambio*, Vol 50, enero del 2021. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01319-7>
- [19] FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- [20] F. Febriyanti, et al. Effect of various planting distances on growth and carrageenan yield of *Kappaphycus alvarezii* (doty) using seedlings produced from mass selection combined with tissue-cultured method. The 3rd EMBRIO International Workshop on Marine Biodiversity: Understanding, Utilization, Conservation, Vol 278, Mayo 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/278/1/012027>
- [21] C. Frieder, et al. A Macroalgal Cultivation Modeling System (MACMODS): Evaluating the Role of Physical-Biological Coupling on Nutrients and Farm Yield. *Ocean Solutions* Vol 9, p.19, Marzo 2022. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.752951>
- [22] S. García, et al. The evolution road of seaweed aquaculture: Cultivation technologies and the industry 4.0. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17, n°18, Septiembre 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186528>
- [23] G. Grebe, Gretchen, et al. An ecosystem approach to kelp aquaculture in the Americas and Europe. *Aquaculture Reports*. Vol 15, Noviembre 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100215>
- [24] S. Hamilton, et al. Integrated multi-trophic aquaculture mitigates the effects of ocean acidification: Seaweeds raise system pH and improve growth of juvenile abalone. *Aquaculture*, Vol 560, Noviembre 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738571>
- [25] F. Hasanah, et al. Kaizen implementation in seaweed aquaculture (*Gracilaria* sp.) in Karawang, West Java: A productivity improvement case study. The World Seafood Congress 2019 – "Seafood Supply Chains of the Future: Innovation, Responsibility, Sustainability", Vol 414, Enero 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/414/1/012007>
- [26] R. Hernández, Metodología de la investigación. 2014. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20Oed.pdf> ISBN:978-1-4562-2396-0
- [27] E. Hwang, H. Choi y K. Jang, Seaweed resources of Korea. *Botánica Marina*, Vol 63, agosto del 2020. <https://doi.org/10.1515/bot-2020-0007>
- [28] E. Hwang, et al. Seaweed breeding programs and progress in eastern Asian countries. *Phycologia*, Vol 58, Septiembre 2019. <https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1639436>

21<sup>st</sup> LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development", Hybrid Event, Buenos Aires - ARGENTINA, July 17 - 21, 2023.

- [29] Husniah, et al. Growth performance of seaweed *Kappaphycus alvarezii* in different planting distance using long-line farming, Mandar Bay, West Sulawesi Indonesia. The 2nd International Conference of Interdisciplinary Research on Green Environmental Approach for Sustainable Development, Vol 575, 28 de octubre del 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/575/1/012097>
- [30] Hurtado, Neish y Critchley. Phycotomy: the extensive cultivation of seaweeds, their sustainability and economic value, with particular reference to important lessons to be learned and transferred from the practice of eucheumatoid farming. *Phycologia*, Vol 58, p. 474, Septiembre 2019. <https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1625632>
- [31] S. Kambey, C. Sondak y I. Chung, Potential growth and nutrient removal of *Kappaphycus alvarezii* in a fish floating-net cage system in Sekotong Bay, Lombok, Indonesia. *World Aquaculture Society*. Vol 51, agosto del 2020. <https://doi.org/10.1111/jwas.12683>
- [32] M. Kasim, et al. Comparison between the growth of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) seed from tissue culture and clone selection cultivated using horizontal net. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. Vol 47, Junio 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2021.01.003>
- [33] R. Krobek, et al. Making farming more sustainable by helping farmers to decide rather than telling them what to do. *Environmental Research Letters*, Vol 16, mayo del 2021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abef30>
- [34] Z. Liang, et al. Influence of Commercial-Scale Seaweed Cultivation on Water Quality: A Case Study in a Typical Laver Culture Area of the Yellow Sea, North China. *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol 10, Mayo 2022. <https://doi.org/10.3390/jmse10050681>
- [35] T. Lohroff, et al. Evaluating the potential bioextractive capacity of South Florida native macroalgae *Agardhiella subulata* for use in integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Aquaculture*, Vol 544, Noviembre 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737091>
- [36] A. Lubsch y K. Timmerman. Phosphate and Nitrate Uptake Dynamics in *Palmaria palmata* (Rhodophyceae): Ecological and Physiological Aspects of Nutrient Availability. *Journal of Phycology*, Vol 56, Octubre 2020. <https://doi.org/10.1111/jpy.13018>
- [37] J. Macchiavello, Suspended culture of *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta: Gigartinales) in Caleta Hornos (northern Chile) via vegetative propagation with secondary attachment discs. *Journal of Applied Phycology*, Vol. 30, n°2, Abril 2018. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1307-z>
- [38] K. Mcdermid, M. Keeley y M. HAWS, Seaweed resources of the Hawaiian Islands. *Botanica Marina*, 2019. <https://doi.org/10.1515/bot-2018-0091>
- [39] A. Melendres, y D. Largo, Integrated culture of *Eucheuma denticulatum*, *Perna viridis*, and *Crassostrea* sp. in Carcar Bay, Cebu, Philippines. *Aquaculture Reports*, Vol 20, Julio 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100683>
- [40] I. Michalak y K. Mahrose, Seaweeds, intact and processed, as a valuable component of poultry feeds. *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol 8, Agosto 2020. <https://doi.org/10.3390/JMSE8080620>
- [41] F. Msuya, et al. Seaweed farming in Africa: current status and future potential. *Journal of Applied Phycology*, Vol 34, N°2, Abril 2022. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02676-w>
- [42] H. Muhammad, et al. Growth of *eucheuma denticulatum* (Spinosum) cultivated with a net bag verticulture method. *AACL Bioflux*. Vol 13, Agosto 2020.
- [43] B. Narvate, et al. Physiological and biochemical characterization of new wild strains of *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta) cultivated under land-based hatchery conditions. *Aquatic Botany*, Vol 183, Diciembre 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2022.103567>
- [44] K. Niwa, H. Iga, T. y Sato, Potential of *Neoporphyra kitoi* (Bangiales, Rhodophyta) as a candidate species for marine crops with high temperature tolerance. *Aquaculture*, Vol 548, Febrero 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737650>
- [45] S. Pereira, J. Kimpara y W. Valenti, A simple substrate to produce the tropical epiphytic algae *Hypnea pseudomusciformis*. *Aquacultural Engineering*, Vol 89, Mayo 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102066>
- [46] C. Periyasamy, R. Subba, P. Anantharaman, Harvest optimization to assess sustainable growth and carrageenan yield of cultivated *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty in Indian waters. *Journal of Applied Phycology*, Vol. 31, n°1, Febrero 2019. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1562-7>
- [47] R. Rama, et al. Seaweed Cultivation of Micropropagated Seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) in Bungin Permai Coastal Waters, Tinangea Sub-District, South Konawe Regency, South East Sulawesi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol 175, Julio 2018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/175/1/012219>
- [48] M. Rimmer, et al. Seaweed aquaculture in indonesia contributes to social and economic aspects of livelihoods and community wellbeing. *Sustainability (Switzerland)*, Vol 13, octubre del 2021. <https://doi.org/10.3390/su131910946>
- [49] F. Sáez y J. Macchiavello, Secondary attachment discs: A new alternative for restoring populations of *chondracanthus chamissoi* (gigartinales, rhodophyta). *Latin American Journal of Aquatic Research*, Vol 46, Marzo 2018. <https://doi.org/10.3856/vol46-issue1-fulltext-14>
- [50] H. Sánchez, C. Reyes, K. Mejí, Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. Junio 2018. <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>
- [51] P. Schmedes, Peter y M. Nielsen, New hatchery methods for efficient spore use and seedling production of *Palmaria palmata* (dulse). *Journal of Applied Phycology*, Vol 32, Agosto 2020. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01998-0>
- [52] N. Simatupang, et al. Growth and product quality of the seaweed *Kappaphycus alvarezii* from different farming locations in Indonesia. *Aquaculture Reports*, Vol 20, julio del 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100685>
- [53] R. Uribe, et al. Características bioecológicas de la macroalga roja *Chondracanthus chamissoi* (c. agardh) kützing (rhodophyta, gigartinales) en la zona intermareal del norte de Perú. *Boletín IMARPE*, Vol. 35, n°2, 2020. <https://biblioiarpe.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3495>
- [54] J. Wright, et al. Asexual propagation of *Asparagopsis armata* gametophytes: fragmentation, regrowth and attachment mechanisms for sea-based cultivation. *Journal of Applied Phycology*, Vol 34, Agosto 2022. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02763-6>
- [55] X. Xiao, et al. Resource (Light and Nitrogen) and Density-Dependence of Seaweed Growth. Vol. 6, octubre del 2019. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00618>
- [56] N. Xu, et al. Effects of Nutrient Availability on the Release of Dissolved and Particulate Organic Carbon by *Pyropia haitanensis* and Its Implications. *Frontiers in Marine Science*, Vol 8, Julio 2021. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.696938>
- [57] Y. Yong; Y. Wilson; A. Anton, Analysis of formulae for determination of seaweed growth rate. *Journal of Applied Phycology*, Vol. 25, n°6, December 2013. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0022-7>.
- [58] J. Zapata, A. Gonzales, S. Zevallos, Estudio comparativo para propagación vegetativa de *Chondracanthus chamissoi*, Yuyo, sobre tres tipos de sustrato en ambiente controlado y su viabilidad en la región Moquegua. *Universidad Nacional de Moquegua*, Vol 11, n° 4, Octubre 2020. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v11n4.642>.