



Efecto de la luz y la temperatura en la esporulación de cigotosporas de “cochayuyo” *Porphyra spp.*

Effect of light and temperature on the sporulation of zygospores of “cochayuyo” *Porphyra spp.*

Samuel Arbaiza^{1,2}; Lucero Arbaiza¹; Orlando Advincula^{3*}; José Carlos Arango¹; Víctor Meza¹

¹ Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

² Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.

³ Universidad San Ignacio de Loyola. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú.

Recepción: 22/07/2019; Aceptación: 15/05/2020

Resumen

Porphyra spp., conocida en Perú como “cochayuyo”, es un alga roja consumida y comercializada en los mercados locales. Sin embargo, su producción proviene íntegramente de la actividad extractiva por lo cual es necesario desarrollar su cultivo. Así mismo, los principales factores que afectan el proceso de cultivo son la luz (intensidad y fotoperíodo) y la temperatura. Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo, determinar las condiciones óptimas de temperatura y luz que promuevan una mayor liberación de cigotosporas. Para ello, individuos reproductivos de *Porphyra spp.*, fueron colectados de playa Santa Elena, Paracas – Pisco y fueron llevados al laboratorio donde fueron estresados bajo dos condiciones de temperatura (T1=18°C y T2=10°C) y luz (E1=sin luz y E2=con luz) y posteriormente, inducidos a liberar cigotosporas en matraces con agua de mar a 18°C con dos condiciones de luz (P1=sin luz y P2=con luz). Así mismo, se evaluó la cantidad de cigotosporas liberadas a las 3, 6, 9 y 12 horas. Los resultados evidenciaron la liberación de cigotosporas en todos los tratamientos y tiempos evaluados. Sin embargo, la mayor cantidad de cigotosporas se obtuvo en el tratamiento con variación de temperatura para el proceso de estrés (T2 = 10°C) y oscuridad (E1 y P1) a las 12 horas de iniciado el proceso con 151,45 ± 4,57 millones de cigotosporas.

Palabras clave: *Porphyra*; cochayuyo; cigotosporas; esporulación; cultivo.

Abstract

Porphyra spp., known in Peru as “cochayuyo”, is a red algae consumed and sold in local markets. However, its production comes entirely from the extractive activity for which it is

Forma de citar el artículo: Arbaiza, S.; Arbaiza, L.; Advincula, O.; Arango, J.; Meza, V. 2020. Efecto de la luz y la temperatura en la esporulación de cigotosporas de “cochayuyo” *Porphyra spp.* Anales Científicos 81 (1): 254-265(2020).

DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v81i1.1634>

Autor de correspondencia (*): Orlando Advincula. Email: orlandoad@gmail.com

© Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

necessary to develop their cultivation. Likewise, the main factors that affect the cultivation process are light (intensity and photoperiod) and temperature. Therefore, the present research aimed to determine the optimal conditions of temperature and light that promote a greater release of zygospores. For this, reproductive individuals of *Porphyra* spp. were collected from Santa Elena beach, Paracas - Pisco and were taken to the laboratory where they were stressed under two temperature conditions (T1=18°C y T2=10°C) and light (E1=without light y E2=with light) and subsequently, induced to release zygospores in flasks with seawater at 18°C with two light conditions (P1=without light and P2=with light). Likewise, the amount of released zygospores was evaluated at 3, 6, 9 and 12 hours. The results showed the release of zygospores in all treatments and evaluated times. However, the highest number of zygospores was obtained in the treatment with variation of temperature for the stress process (T2=10°C) and darkness (E1 and P1) at 12 hours after starting the process with $151,45 \pm 4,57$ million zygospores.

Key words: *Porphyra*; cochayuyo; zygospores; sporulation; culture.

1. Introducción

Las algas rojas del género *Porphyra* y/o *Pyropia* comúnmente conocido como “nori”, “luche” en Chile o “cochayuyo” en Perú, son algas foliosas de la familia Bangiaceae con más de 100 especies reportadas alrededor del mundo (Yoshida *et al.*, 1997; Brodie *et al.*, 2008; Redmond *et al.*, 2014). La mayor diversidad habita en las regiones con clima frío a templado y se distribuyen principalmente entre el intermareal superior y la zona de rompimiento de olas (Chen y Xu, 2005; Mouritsen, 2013; Acuña y Espinoza, 2014). Son actualmente las algas de mayor valor económico del mundo, cuya producción anual en países asiáticos como China, Corea y Japón generan US \$ 1.3 mil millones, consolidando el cultivo de este recurso como la actividad acuícola más importante de Asia (Redmond *et al.*, 2014; Blouin *et al.*, 2011). Así mismo, diversos estudios han demostrado sus propiedades nutricionales con un alto nivel de proteínas (de hasta un 25 a 50% en peso seco), lípidos (ácidos grasos insaturados), vitaminas, minerales esenciales y diversos compuestos bioactivos con beneficios para la salud (Noda, 1993; Yoshiki *et al.*, 2009; Israel, 2010; Cian *et al.*, 2012; Qian *et al.*, 2014; Hamed *et al.*, 2015; Michalak y Chojnacka, 2015).

En el Perú, *Porphyra* spp. es ampliamente consumida y comercializada en los mercados locales para consumo humano directo (Acleto, 1986;ACLETO y Zuñiga, 1998; Noriega, 2011; Ugás, 2014, Avila-Peltroche y Padilla-Vallejos, 2020). Sin embargo, su producción proviene íntegramente de la actividad extractiva (realizada por recolectores artesanales) de las praderas naturales a lo largo de la costa. Debido a ello, además de su estacionalidad (el recurso esta solo disponible en los meses de otoño e invierno), se imposibilita su escalamiento comercial y/o productivo que pueda satisfacer la creciente demanda del mercado local.

Por otro lado, diversos autores han señalado que a lo largo del ciclo de vida de las algas marinas (crecimiento, reproducción, germinación de esporas y maduración), existen diversos factores ambientales (físicos, químicos o biológicos) y factores endógenos que afectan su desarrollo (Agrawal, 2009 y 2012; Hurd *et al.*, 2014). Sin embargo, en la reproducción de las algas marinas, los principales factores que afectan este proceso son la luz (intensidad y fotoperiodo) y la temperatura (Ávila *et al.*, 1986; Maggs y Callow, 2003; Ávila *et al.*, 2011; Agrawal, 2012; Hurd *et al.*, 2014). *Porphyra* spp., tiene un ciclo vital bifásico

heteromórfico (Etcheverry y Collantes, 1977; Ávila *et al.*, 1986; Tala y Chow, 2013; Redmond *et al.*, 2014) con una alternancia de generaciones entre la fase gametofítica macroscópica (talo folioso) y una fase esporofítica filamentosa microscópica llamada “conchocelis”. Su desarrollo se encuentra estrictamente influenciado por los cambios de temperatura, fotoperiodo e irradiancia (Etcheverry y Collantes, 1977; Ávila *et al.*, 1986; Brown *et al.*, 1990; Frazer y Brown, 1995; Pereira *et al.*, 2004; Israel, 2010; Tala y Chow, 2013; Redmond *et al.*, 2014).

Por lo antes mencionado, es necesario desarrollar el cultivo de este recurso para llevar a cabo una actividad sostenible y sustentable que mejore la capacidad productiva de los recolectores artesanales y que permita satisfacer la demanda del mercado. Para lograr ello, se deben establecer los parámetros básicos de cultivo para sus distintas etapas (producción de cigotosporas y asentamiento, germinación, crecimiento, etc.). Así mismo, la producción de cigotosporas, es la etapa inicial en el proceso de cultivo de *Porphyra spp.* y por lo tanto, la determinación de los parámetros que afectan o inhiben este proceso, brindarán las bases para el desarrollo de cultivo de esta especie en el Perú. En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo, determinar las condiciones óptimas de temperatura y luz que promuevan una mayor liberación de cigotosporas.

2. Materiales y métodos

Colecta y traslado del material biológico

Se colectaron individuos de *Porphyra spp.* en estado reproductivo de la orilla rocosa de playa Santa Elena, Paracas – Pisco (13°55'S 76°19'W) entre el 15 – 18 de julio del 2018 y fueron trasladados en contenedores

térmicos aislados al Laboratorio de Biología Aplicada del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos (CEMTRAR) de la Universidad Nacional Agraria La Molina en Lima. Una vez en el laboratorio, los individuos fueron enjuagados con agua destilada, limpiados con un pincel y lavados con agua de mar esterilizada para eliminar impurezas y microorganismos que se encuentran sobre su superficie. Posteriormente, fueron secados completamente con papel absorbente y luego, con ayuda de un bisturí, se diseccionaron cuidadosamente áreas reproductivas de 1 – 3 cm² de todos los individuos (áreas marrones rojizas de los bordes de las frondas), y se formaron grupos de esporulación de 2 gr. (aproximadamente) en placas de Petri para los análisis posteriores (Figura 1 y 2) Se prepararon 32 grupos de esporulación en total.

El experimento estuvo compuesto por 8 unidades experimentales: T1E1P1, T1E1P2, T1E2P1, T1E2P2, T2E1P1, T2E1P2, T2E2P1, T2E2P2. Cada unidad experimental tuvo 4 repeticiones. En primer lugar, los grupos de esporulación fueron sometidos a un estrés por 12 horas en 2 condiciones de temperatura diferentes: T1=18°C (Temperatura ambiente) y T2=10°C y dos condiciones de luz: E1=sin luz (placa Petri cubierto con papel aluminio) y E2=con luz a 40 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (LI COR LI-190R Quantum sensor) (Figura 2).

Luego de las 12 horas, las áreas reproductivas de cada grupo de esporulación fueron inoculadas en matraces de 1 L con agua de mar, filtrada y esterilizada, a 18°C para inducir la liberación de cigotosporas. En esta etapa se evaluaron 2 condiciones de luz para la preparación de la solución de cigotosporas: P1=sin luz (matraz cubierto con papel aluminio) y P2=con luz a 50 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 4).

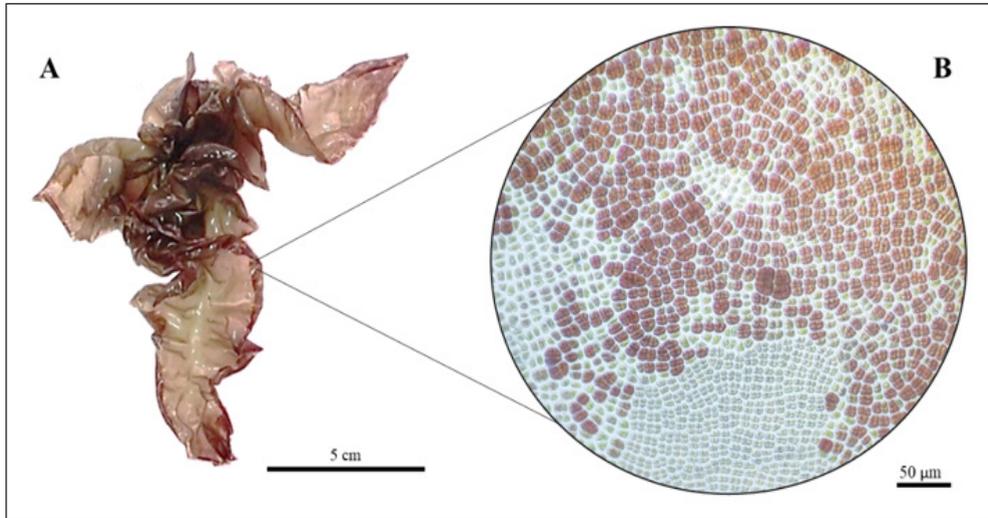


Figura 1. Individuo gametofítico en estado reproductivo de *Porphyra* spp. **A.** Apariencia de un talo reproductivo con los bordes marrones rojizos. **B.** Vista superficial de los cigotosporangios de *Porphyra* spp. compuestos de 4 cigotosporas.

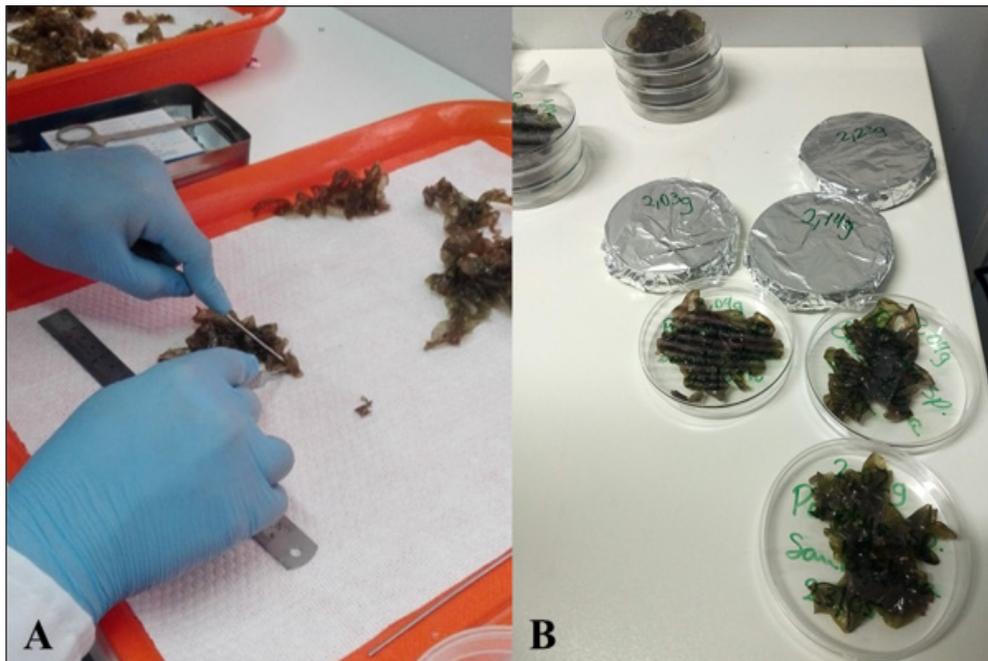


Figura 2. Inducción para la liberación de cigotosporas de *Porphyra* spp. **A.** Corte de estructuras reproductivas de *Porphyra* spp. y formación de grupos de esporulación de 2 gr. en placas Petri. **B.** Placas Petri con las áreas reproductivas de *Porphyra* spp. bajo dos condiciones diferentes de temperatura y luz para identificar los factores que inducen una mayor liberación de cigotosporas.

Inducción para la liberación de cigotosporas

Con el objetivo de determinar los factores que inducen una mayor liberación de cigotosporas, los grupos de esporulación (placas de Petri con áreas reproductivas de *Porphyr*a spp.) fueron sometidos a diversos estímulos para determinar el mejor tratamiento (Figura 3).

Todos los matraces tuvieron sistemas de aireación constante y uniforme para evitar el asentamiento de las cigotosporas. Así mismo, la determinación de la cantidad de cigotosporas presentes en la solución fue realizada en una cámara de Sedwick-Rafter después de 3, 6, 9 y 12 horas desde la inoculación de las áreas reproductivas en los matraces, con la finalidad de evaluar el mejor tiempo para la liberación de cigotosporas.

Análisis estadístico

Para analizar como varía la cantidad de cigotosporas en función de la temperatura (T con los niveles T1=18°C y T2=10°C), condición de luz en los grupos de esporulación (E con los niveles E1=Cubierto y E2=sin cubrir) y condición de luz en la solución de cigotosporas (P con los niveles P1=Cubierto, P2=Sin cubrir), se desarrollaron modelos lineales generales y mixtos (Di Rienzo *et al.*, 2017). Debido a la naturaleza del experimento, donde los resultados de una variable condicionan a otra, las 3 variables independientes se fusionaron en una sola variable, que la llamaremos FACTOR, y se analizó con respecto del tiempo de preparación de la solución de cigotosporas en los matraces (3, 6, 9 y 12 horas). Así mismo, dado que se repitieron las medidas 4 veces, se realizó un análisis de varianza con medidas repetidas, usando la simetría compuesta. Para analizar la normalidad de los residuales se analizó con la prueba de Shapiro-Francia (Shapiro y Francia, 1972). Se usó el programa Infostat 2019.

3. Resultados y discusión

Se pudo evidenciar la existencia de interacción entre las variables estudiadas, el factor y las horas según las pruebas de hipótesis marginales ($P < 0.05$). Así mismo, se evidenció la liberación de cigotosporas en todos los tratamientos evaluados y en todos los tiempos de evaluación de la solución de cigotosporas (3, 6, 9 y 12 horas desde la inoculación de las áreas reproductivas en los matraces) (Tabla 2). Sin embargo, la mayor cantidad de cigotosporas liberadas se obtiene entre las 9 y 12 horas en todos los tratamientos (Tabla 1, Figura 4).

La cantidad de cigotosporas en los tratamientos que presentaron variación de Temperatura (T2E1P1, T2E2P1, T2E2P1 y T2E2P2) fueron significativamente mayores que los tratamientos sin variación de temperatura (T1E1P1, T1E2P1, T1E2P1 y T1E2P2) ($P < 0.05$). En los tratamientos con variación de temperatura, la mayor cantidad de cigotosporas se obtuvo en el tratamiento T2E1P1 (T2 = 10°C, E1= oscuridad y P1= oscuridad) con valores promedio de $134,80 \pm 4,57$ y $151,45 \pm 4,57$ millones de cigotosporas a las 9 y 12 horas respectivamente, seguido del tratamiento T2E1P2 (T2= 10°C, E1= oscuridad y P2= con luz) con valores promedio de $55,08 \pm 4,57$ y $92,9 \pm 4,57$ millones de cigotosporas a las 9 y 12 horas respectivamente.

Así mismo, en los tratamientos sin variación de temperatura, la mayor cantidad de cigotosporas se obtuvo en los tratamientos con el matraz cubierto (P1) a las 9 y 12 horas donde T1E2P1 (T1= 18°C, E2= luz y P1= oscuridad) presentó el valor promedio más alto con $24,1 \pm 4,57$ y $26 \pm 4,57$ millones de cigotosporas a las 9 y 12 horas respectivamente, seguido del tratamiento T1E1P1 (T1= 18°C, E1= oscuridad y P1= oscuridad) con valores promedio de $20,38 \pm 4,57$ y $19,62 \pm 4,57$ millones de cigotosporas a las 9 y 12 horas respectivamente ($P < 0,05$) (Tabla 1, Figura 5).

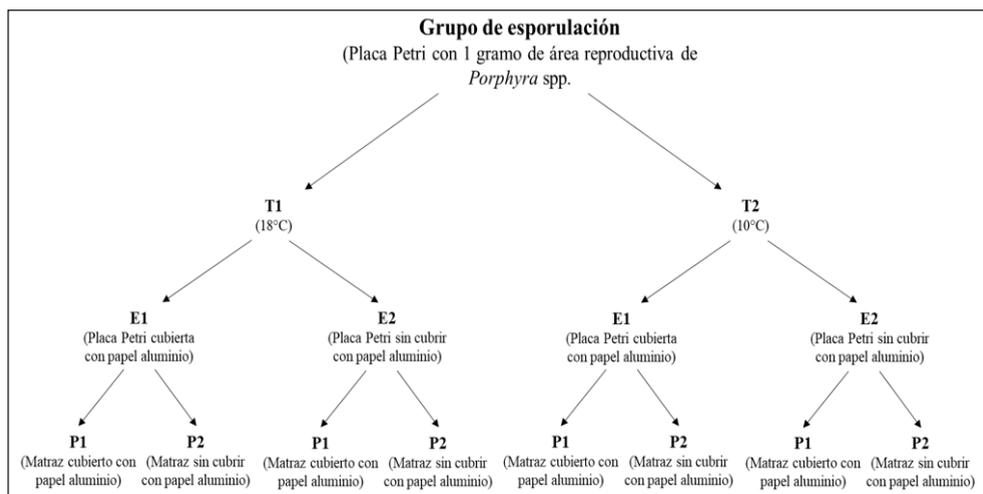


Figura 3. Flujo de etapas para determinar los factores que inducen una mayor liberación de cigotosporas de *Porphyra* spp.



Figura 4. Preparación de la solución de cigotosporas bajo dos condiciones de luz.

Diversos trabajos relacionados con la inducción a la esporulación de las algas señalan que la luz juega un rol importante en este proceso (Romo y Paula, 1995; Oliveira *et al.*, 1995; West y McBride, 1999; Macaya, 2001; Agrawal, 2012; Redmond *et al.*, 2014; Castañeda *et al.* 2018). Por su parte, Santelices (1990) menciona que la liberación de propágulos se ve favorecida por condiciones de oscuridad y/o poca

iluminación. Así mismo, Friedlander y Dawes (1984) identificaron una mayor liberación de carpósporas en *Gracilaria foliifera* en condiciones de oscuridad. Por otro lado, Umamaheswara y Subbarangaiah (1981) identificaron una disminución en la liberación de tetrásporas de *Gracilaria corticata* y *G. textorii* con un aumento de la irradiancia. Por su parte, Mumford y Waaland (1980) determinaron que la esporulación de las especies *Iridaea cordata* y *Gigartina exasperata* era inducida por la luz después de algunos períodos de oscuridad. Resultados similares han sido descritos para *Sarcothalia crispata* (Ávila *et al.* 1994), *Nyctophyllum punctatum* (West y Mc Bride, 1999), *Gracilaria verrucosa* (Kim *et al.*, 2001), *Chondracanthus chamissoi* (Arbaiza, 2016) y *Porphyra columbina* (Etcheverry y Collantes, 1977; Seguel y Santelices, 1988; Romo y Paula, 1995). Ávila *et al.* (1986) observaron que la liberación de conchosporas en *Porphyra columbina* se induce por una disminución de la temperatura de 15 a 10 °C. Esto concuerda con lo reportado por otros autores para otras especies de *Porphyra* spp. (Iwasaki y Sasaki, 1971; Waaland y Dickson,

1983; Romo y Paula, 1995; Pacheco-Ruíz *et al.* 2005; Redmond *et al.*, 2014). Así mismo, Pacheco-Ruíz *et al.* (2005) evidenciaron que las bajas temperaturas, como se observa en los eventos de surgencia, inducen la liberación de cigotosporas de *Porphyra perforata* en los meses de verano, lo cual corrobora a lo encontrado, mayor cantidad de cigotosporas obtenidas en el tratamiento que combina el estrés por variación de temperatura (T2= 10°C) y oscuridad (E1 y P1)

Por otro lado, algunos autores señalan que los periodos de inducción a la esporulación deben de ser reducidos (Ávila *et al.*, 1994; Romo y Paula, 1995; Macaya, 2001). Sin embargo, en la presente investigación se observó liberación de cigotosporas de *Porphyra spp.* a partir de las 3 horas de inoculado el material reproductivo pero con una mayor cantidad a las 9 y 12 horas. Esto puede deberse a la naturaleza del proceso de liberación de esporas en ciertas algas el cual ocurre en pulsos que pueden demorar horas, días y que dependen muchas veces

de las condiciones del entorno como el movimiento adecuado del agua (Amsler y Neushul, 1989; Reed *et al.*, 2006; Hurd *et al.*, 2014). La fase foliar de *Porphyra spp.* tiene una alta capacidad para desarrollarse en los niveles más altos de la zona intermareal gracias a su habilidad para resistir prolongados periodos de emersión debido a su alta resistencia al estrés por desecación, radiación solar y amplias variaciones de salinidad (Romo y Paula, 1995; Luo *et al.*, 2014). Por lo tanto es de esperarse que la liberación de cigotosporas ocurra en pulsos, solo en los momentos que los individuos se encuentran inmersos en el agua de mar debido a la subida de las mareas. Por otro lado, se ha observado que a una mayor duración en el tiempos de inducción a la esporulación en los matraces (16, 18 y/o 24 horas) se reduce la cantidad de cigotosporas suspendidas en la solución; observándose en muchos casos, asentamiento de cigotosporas sobre toda la superficie del matraz (aunque particularmente en el fondo).

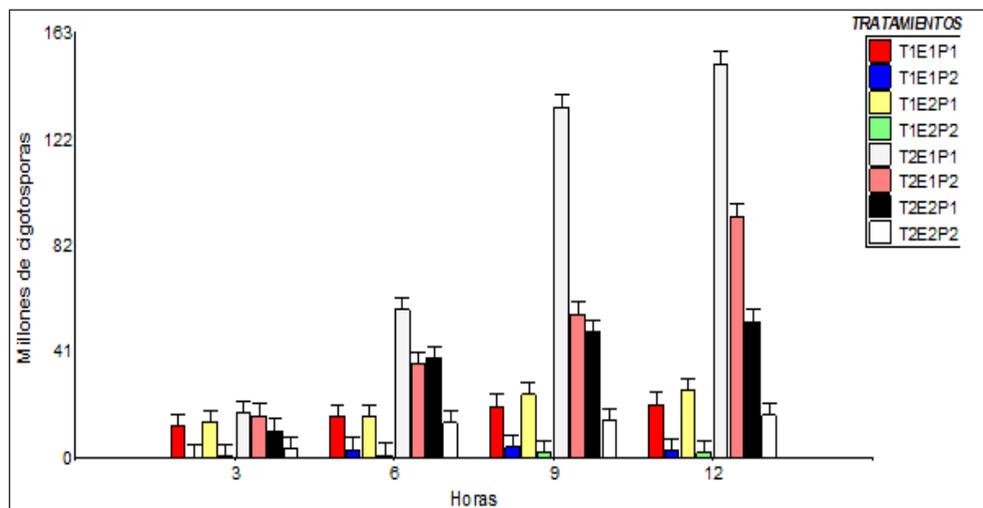


Figura 5. Cantidad de cigotosporas liberadas según Factor y tiempo de elaboración de la solución.

Tabla 1. Medias ajustadas y errores estándares para HORAS*TRATAMIENTO, Prueba LSD de Fisher. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P < 0,05$)

| Tratamiento | Horas | Medias \pm E.E. |
|-------------|-------|-------------------------------------|
| T1E1P1 | 3 | 11,62 \pm 4,57 ^{IJKLMNO} |
| | 6 | 15,75 \pm 4,57 ^{HJKL} |
| | 9 | 19,62 \pm 4,57 ^{HJ} |
| | 12 | 20,38 \pm 4,57 ^{HJ} |
| T1E1P2 | 3 | 0,05 \pm 4,57 ^O |
| | 6 | 2,92 \pm 4,57 ^{MNO} |
| | 9 | 3,82 \pm 4,57 ^{KLMNO} |
| | 12 | 2,32 \pm 4,57 ^{MNO} |
| T1E2P1 | 3 | 13,73 \pm 4,57 ^{HJKLM} |
| | 6 | 15,75 \pm 4,57 ^{HJKL} |
| | 9 | 24,1 \pm 4,57 ^{GHI} |
| | 12 | 26 \pm 4,57 ^{FGH} |
| T1E2P2 | 3 | 0,23 \pm 4,57 ^O |
| | 6 | 0,62 \pm 4,57 ^{NO} |
| | 9 | 1,75 \pm 4,57 ^{MNO} |
| | 12 | 1,7 \pm 4,57 ^{MNO} |
| T2E1P1 | 3 | 16,93 \pm 4,57 ^{HJ} |
| | 6 | 56,63 \pm 4,57 ^D |
| | 9 | 134,8 \pm 4,57 ^B |
| | 12 | 151,45 \pm 4,57 ^A |
| T2E1P2 | 3 | 15,88 \pm 4,57 ^{HJKL} |
| | 6 | 35,68 \pm 4,57 ^{EFG} |
| | 9 | 55,08 \pm 4,57 ^D |
| | 12 | 92,9 \pm 4,57 ^C |
| T2E2P1 | 3 | 10,18 \pm 4,57 ^{JKLMNO} |
| | 6 | 38,38 \pm 4,57 ^{EF} |
| | 9 | 48,35 \pm 4,57 ^{DE} |
| | 12 | 52,18 \pm 4,57 ^D |
| T2E2P2 | 3 | 3,22 \pm 4,57 ^{LMNO} |
| | 6 | 13,15 \pm 4,57 ^{IJKLMN} |
| | 9 | 14,2 \pm 4,57 ^{HJKLM} |
| | 12 | 16,08 \pm 4,57 ^{HJK} |

Los resultados evidenciados en la presente investigación demuestran la importancia de la temperatura y la luz en el proceso de liberación de cigotosporas de *Porphyra* spp. coincidiendo con otras experiencias alrededor del mundo. Esta investigación brinda el primer paso para

iniciar procedimientos de cultivo de la fase conchocelis de *Porphyra* spp. con altas densidades. Se debe hacer notar que la obtención de una buena densidad de cigotosporas se traduce en mayores densidades de la fase conchocelis, y por ende, se incrementa la posibilidad de formar estructuras reproductivas (conchosporangios), las cuales liberarán conchosporas que finalmente germinarán en la fase foliar comercial.

4. Conclusiones

Las condiciones óptimas para obtener una mayor liberación de cigotosporas de *Porphyra* spp. es inducir los talos reproductivos mediante un estrés en oscuridad (sin luz) y una variación de la temperatura a 10°C. Así mismo, este proceso ocurre en pulsos, siendo la duración de 12 horas el mejor tiempo para inducir la liberación de cigotosporas en los matraces.

5. Agradecimientos

Un agradecimiento especial al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (Innovate Perú) por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto Contrato N°: 137-2017- IAPIP en donde estuvo enmarcada la presente investigación. Así mismo, se agradece al equipo de investigación del Laboratorio de Biología Aplicada – CEMTRAR por el apoyo técnico y logístico en el desarrollo de la presente investigación.

6. Literatura citada

- Acleto, C.; Zuñiga, R. 1998. Introducción a las algas. Editorial Escuela Nueva S.A., Pp. 263-271.
- Acleto, C. 1986. Algas marinas del Perú de importancia económica. 2da Ed. Publicada. Museo de Historia Natural. Serv. Divul. No 5-1-140.

- Acuña, E.; Espinoza, M. 2014. Cultivo experimental de *Pyropia* sp. Seminario de investigación. Chile. Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- Agrawal, S.C. 2009. Factors Affecting Spore Germination in Algae — review. *Folia Microbiol.* 54 (4): 273–302.
- Agrawal, S.C. 2012. Factors controlling induction of reproduction in algae—review: the text. *Folia Microbiol (Praha)*. 57(5):387-407.
- Amsler, C.D.; Neushul, M. 1989. Diel periodicity of spore release from the kelp *Nereocystis luetkeana* (Mertens) Postels et Ruprecht. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* Vol. 134: 117-127.
- Arbaiza, S. 2016. Viabilidad reproductiva para el cultivo de *Chondracanthus chamissoi* proveniente de tres poblaciones del litoral peruano. Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae en Acuicultura. Escuela de Post-grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Pp: 22.
- Ávila, M.; Santelices, B.; McLachlan, J. 1986. Photoperiod and temperature regulation of the life history of *Porphyra columbina* (Rhodophyta, Bangiales) from central Chile. *Can. J. Bot.* 64: 1867- 1872.
- Ávila, M.; Otaíza, R.; Norambuena, R.; Nuñez, M.; Candia, A. y Poblete, A. 1994. Desarrollo de tecnología de cultivo y repoblamiento de luga negra en la X región. Instituto de Fomento Pesquero. Corporación de Fomento de la Producción. SCI 94/9:97 pp.
- Ávila, M.; Piel, M. I.; Cáceres, J.; Alveal, K. 2011. Cultivation of the red alga *Chondracanthus chamissoi*: sexual reproduction and seeding production in culture under controlled conditions. *J Appl Phycol* 23:529–536.
- Avila-Peltroche, J.; Padilla-Vallejos, J. 2020. The seaweed resources of Peru. *Botanica marina* 62 (3).
- Blouin, N.A.; Brodie, J.A.; Grossman, A.C.; Xu, P.; Brawley, S.H. 2011. *Porphyra*: a marine crop shaped by stress. *Trends Plant Sci*, 16(1):29-37.
- Brodie, J.; Mortensen, A. M.; Ramirez, M.E.; Rusell, S.; Rinkel, B. 2008. Making the links: towards a global taxonomy for the red algal genus *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology*, 20: 939-949.
- Brown, M.T.; Frazer, A.W.J.; Brasch, D.J.; Melton, L.D. 1990. Growth and reproduction of *Porphyra columbina* Mont. (Bangiales, Rhodophyceae) from southern New Zealand. *J. Appl. Phycol.* 2, 35–44.
- Castañeda, M.; Arbaiza, S.; Diaz, F.; Castillo, Y.; Baltazar, P.; Advíncula, O. 2018. Evaluación del fotoperiodo en el asentamiento de tetraesporas de *Chondracanthus chamissoi* sobre cuerdas de polipropileno en condiciones semi-controladas de laboratorio. Universidad Nacional Agraria La Molina. *Anales Científicos* 79(2): 459 – 465.
- Chen, J.; Xu, P. 2005. Culture aquatic species information programme – *Porphyra* spp. En: Departamento de pesca y acuicultura de la FAO (en línea). Roma. Disponible en http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Porphyra_spp/es.
- Cian, R.E.; López-Posadas, R; Drago, R.S.; Sánchez de Medina, F.; Martínez-Augustin, O. 2012. A *Porphyra columbina* hydrolysate upregulates IL-10 production in rat macrophages and lymphocytes through an NF- κ B, and p38 and JNK dependent mechanism. *Food Chemistry* 134

- (2012) 1982–1990.
- Di Rienzo, J. A.; Macchiavelli, R.E.; Casanoves, F. 2017. Modelos Lineales Mixtos. Modelos Lineales Mixtos Aplicaciones En InfoStat. Primera Edición, 3.
- Etcheverry, H.; Collantes, G. 1977. Cultivo artificial del luche, *Porphyra columbina* (Montagne 1845) (Rhodophyta, Bangiaceae). Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile, 16: 195 -202.
- Frazer, A.W.J.; Brown, M.T. 1995. Growth of conchocelis phase of *Porphyra columbina* (Bangiales, Rhodophyta) at different temperatures and levels of light, nitrogen and phosphorus. Phycological Research 43: 249-253.
- Friedlander, M.; Dawes, C.J. 1984. Studies on spore release and sporeling growth from carpospores of *Gracilaria folifera* (Førsskål) Børgesen var. *angustissima* (Harvey) Taylor. I. Growth responses. Aquatic Bot. 19: 221–232.
- Hamed, I.; Ozogul, F.; Ozogul, Y.; Regenstein, J.M. 2015. Marine Bioactive Compounds and Their Health Benefits: A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. Vol.14.
- Hurd, C.L.; Harrison, P. J.; Bischof, K.; Lobban, C. S. 2014. Seaweed Ecology and Physiology. Second Edition. Cambridge University Press.
- Israel. A. 2010. The extreme environments of *Porphyra*, a fast growing and edible red marine macroalga. In: J. Seckbach and D.J. Chapman (eds.), Red Algae in the Genomic Age, Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology 13: 61-75.
- Iwasaki, H.; Sasaki, N. 1971. The conchocelis-phase of *Porphyra suborbiculata* forma *latifolia*. Proc. Int. Seaweed Symp. 7:364-367.
- Kim, Y.S.; Choi, H.G.; Nam, K.W. 2001. Effects of light, desiccation and salinity for the spore Discharge of *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta) in Korea. J. Fish. Sci. Tech. 4 (4): 257 – 260.
- Luo, Q.; Z. Zhu; Zhu, Z.; Yang, R.; Qian, F.; Chen, H.; Yan, X. 2014. Different Responses to Heat Shock Stress Revealed Heteromorphic Adaptation Strategy of *Pyropia haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta). PLoS ONE 9(4): e94354. doi:10.1371/journal.pone.0094354
- Macaya, E. 2001. Uso de carposporas para el cultivo de *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing 1843 (Rhodophyta; Gigartinales): inducción a la esporulación y fijación sobre diferentes sustratos. Tesis para obtener el título profesional de Biólogo Marino. Universidad Católica del Norte. Chile. pp 72.
- Maggs, C. A.; Callow, M. E. 2003. “Algal spores,” in Encyclopedia of Life Sciences, (London: MacMillan Publishers Ltd.).
- Maggs, C.A.; Callow, M.E. 2003. Algal spores. Encyclopedia of Life Sciences, (London: MacMillan Publishers Ltd.).
- Michalak, I.; Chojnacka, K. 2015. Algae as production systems of bioactive compounds. Eng. Life Sci. 15:160–176.
- Mouritsen, O.G. 2013. Seaweeds: edible, available and sustainable. USA: University of Chicago Press.
- Mumford, T.H.; Waaland, R. 1980. Progress and prospects for field cultivation of *Iridaea cordata* and *Gigartina exasperata*. Hopkins Marine Station

- of Stanford University, Pacific Grove, California. 59 pp.
- Noriega, C. 2011. Algas comestibles del Perú. Pan del futuro. Lima: Universidad San Martín de Porres.
- Noda, H. 1993. Health benefits and nutritional properties of Nori. *Journal of Applied Phycology* 5: 255-258.
- Oliveira, E.C.; Paula, E.; Plastino, E.M.; Petti, R. 1995. Metodologías para el cultivo no axénico de macroalgas in vitro. In: Alveal K., M.E. Ferrario, E.C. Oliveira, E. Sar. eds. Manual de métodos ficológicos. Chile. Universidad de Concepción. P.: 429 – 447.
- Pacheco-Ruíz, I.; Bolaños-Arias, G.; Zertuche-González, J.A.; Gálvez-Télles, A. y Cabello-Pasini, A. 2005. Propagule release and recruitment in *Porphyra perforata* (Rhodophyta) from Baja California, Mexico. *Botanica Marina* 48 (2005): 90–95.
- Pereira, R.; Sousa-Pinto, I.; Yarish, C. 2004. Field and culture studies of the life history of *Porphyra dioica* (Bangiales, Rhodophyta) from Portugal. *Phycologia* 43 (6): 756-767.
- Qian, L.; Zhou, Y.; Ma, J.X. 2014. Hypolipidemic effect of the polysaccharides from *Porphyra yezoensis*. *International Journal of Biological Macromolecules* 68: 48–49.
- Redmond, S.; Green, L.; Yarish, C.; Kim, J.; Neefus, C. 2014. *New England Seaweed Culture Handbook: nursery systems*. EE. UU. 92 p.
- Reed, D.C.; Kinlan, B.P.; Raimondi, P.T.; Washburn, L.; Gaylord, B.; Drake, P.T. 2006. A metapopulation perspective on the Patch Dynamics of Giant Kelp in Southern California. In Kritzer J.P, P.F. Sale. *Marine metapopulations*. Academic press. 353 - 386 pp.
- Romo, H.; Paula, E. 1995. Métodos experimentales para el cultivo de *Porphyra*. In: Alveal K., M.E. Ferrario, E.C. Oliveira, E. Sar. eds. Manual de métodos ficológicos. Chile. Universidad de Concepción. 551-562 pp.
- Santelices, B. 1990. Patterns of reproduction, dispersal and recruitment in seaweeds. *Oceanography and Marine Biology An Annual Review* 28: 177–276.
- Santelices, B. 1990. Patterns of reproduction, dispersal and recruitment in seaweeds. *Oceanography and Marine Biology An Annual Review*. 28:177–276.
- Seguel, M.; Santelices, B. 1988. Cultivo masivo de la fase conchocelis del luche, *Porphyra columbina* Montagne (Rhodophyta, Bangiaceae). *Gayana Bot.* 1/4: 317-327.
- Shapiro, S.S.; Francia, R.S. 1972. An approximate analysis of variance test for normality. *Journal of the American Statistical Association*. *Journal of the American Statistical Association*.
- Tala, F.; Chow, F. 2013. Phenology and photosynthetic performance of *Porphyra* spp. (Bangioophyceae, Rhodophyta): Seasonal and latitudinal variation in Chile. *Aquatic Botany* 113: 07– 116.
- Ugás, R. 2014. 40 verduras viejas y nuevas para diversificar tu alimentación y nutrirte mejor. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Umamaheswara, R.; Subbarangaiah, G. 1981. Effects of environmental factors on the diurnal periodicity

- of tetraspores of some Gigartinales (Rhodophyta). *Seaweed Symp*, 10: 209–214.
- Waaland, J.R.; Dickson, L.G. 1983. Photoperiodic control of conchospore maturation and release in *Porphyra abbottae* and *Porphyra perforata* Rhodophyta. *J. Phycol. (Suppl.)*, 19: 6.
- West, J.A.; McBride, D. L. 1999. Long-term and diurnal carpospores discharge patterns in the ceramiaceae, Rhodomelaceae and Delesseriaceae (Rhodophyta). *Hydrobiología* 398/399: 101 – 113.
- Yoshida, T.; Notoya, M.; Kikuchi, N.; Miyata, M. 1997. Catalogue of species of *Porphyra* in the world, with special reference to the type locality and bibliography. *Nat. Hist. Res.* 3: 518.
- Yoshiki, M.; Tsuge, K.; Tsuruta, Y.; Yoshimura, T.; Koganemaru, K.; Sumi, T.; Matsui, T.; Matsumoto, K. 2009. Production of new antioxidant compound from mycosporine-like amino acid, porphyra-334 by heat treatment. *Food Chemistry* 113: 1127–1132.