TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y BIOLÓGICAS

CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA MARINA

"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL REPRODUCTIVO DE *Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariales: Rhodophyta) EN SAN ANDRÉS, PISCO"

Tesis para optar el título profesional de:

BIÓLOGA MARINA

Presentado por:

Sofia Cielo Chung Velasquez (0000-0002-5046-6971)

Asesor:

Paul Martin Baltazar Guerrero (0000-0003-4071-4772)

Lima – Perú

2024

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y BIOLÓGICAS

CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA MARINA

"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL REPRODUCTIVO DE *Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariales: Rhodophyta) EN SAN ANDRÉS, PISCO"

Tesis para optar el título profesional de:

BIÓLOGA MARINA

Presentado por:

Sofia Cielo Chung Velasquez (0000-0002-5046-6971)

Asesor:

Paul Martin Baltazar Guerrero (0000-0003-4071-4772)

Lima – Perú

2024

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 26 de agosto de 2024.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Leonardo Humberto Mendoza Carbajal
Integrante: Blgo. Aldo Gonzalo Indacochea Mejía
Integrante: Blga. Luzmila Rodríguez Quispe

Se reúnen para evaluar la tesis titulada: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL REPRODUCTIVO DE *Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariales: Rhodophyta) EN SAN ANDRÉS, PISCO

Presentada por el tesista:

- Sofía Cielo Chung Velásquez

Para optar el Título Profesional de Biólogo Marino

Asesorada por: Blgo. Paul Martin Baltazar Guerrero

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Sofía Cielo Chung Velásquez			Nota (escrito): Diecisiete
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.

Mg. Leonardo Humberto Mendoza Carbajal
Presidente del jurado

Blgo. Aldo Gonzalo Indacochea Mejía
Miembro del jurado

Blga. Luzmila Rodríguez Quispe
Miembro del jurado

Blgo. Paul Martin Baltazar Guerrero
Asesor

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN[1]

Lima, 07 de octubre del 2024

Dr,
Carlos Zavalaga Reyes
Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

De nuestra consideración,

Yo: **Sofía Cielo Chung Velásquez**, egresada de la carrera de Biología Marina de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el **asesor de tesis Paul Martín Baltazar Guerrero, declaramos que este informe final de tesis de investigación titulado: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL REPRODUCTIVO DE *Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariales: Rhodophyta) EN SAN ANDRÉS, PISCO**, sustentado para obtener el título de Biólogo Marino es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos[2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Firma tesista
Sofía Chung Velásquez
DNI: 73127540



Firma del asesor de tesis
Paul M. Baltazar Guerrero
DNI: 25622777

[1] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[2] Los documentos están en: https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Evaluación del potencial reproductivo de Gracilariopsis lemaneiformis (Gracilariales: Rhodophyta) en San Andrés, Pisco

Autores. Sofia Cielo Chung Velasquez

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2487720264).

Resultado de la evaluación. 4%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

TESIS EN FORMATO DE ARTÍCULO CIENTÍFICO

I Carátula
II Hoja en blanco
III Carátula interior
IV Copia del acta de sustentación
V Constancia de Originalidad
VI Hoja en blanco
VII Dedicatoria (opcional)
VIII Agradecimientos (opcional)
IX Resumen
X Abstract
XI Artículo enviado a publicar
- XI.a Introducción
- XI.b Métodos
- XI.c Resultados
- XI.d Discusión
- XI.e Referencias bibliográficas

XII Anexos
- XII.a Evidencia del envío a revista científica
- XII.b Copia de documento de aprobación del comité de ética
- XII.c Copia de resolución directoral de aprobación del proyecto de tesis (si correspondiese)
- XII.d Instrumentos usados en la investigación y demás información de utilidad

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

A mis padres por su apoyo incondicional en cada proyecto iniciado.

A Shimi y Bonnie, por su paciencia infinita.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Agradecimientos

Agradezco al Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (PNIPA) y a la Universidad Científica del Sur (UCSUR Nº 056-2022-PRO99) por ser las entidades que financiaron el presente trabajo de investigación que se encontraba enmarcado dentro del proyecto : “Implementación de un plantel de cultivo piloto comercial de *Gracilariopsis lemaneiformis* "pelillo" empleando dos sistemas de cultivo (fondo y suspendido) para su evaluación en el rendimiento de obtención del ficocoloide agar” - Contrato Nro. 452-2020-PNIPA-SUBPROYECTO.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Resumen

Gracilariopsis lemaneiformis “pelillo” es un alga roja de importancia reconocida a nivel mundial por proveer una amplia variedad de servicios. El objetivo de este trabajo es evaluar el potencial reproductivo (PR) de individuos de la especie extraídos en la playa San Andrés, Pisco-Perú a través de la técnica de liberación de esporas; para ello, se tomaron muestras de la especie en zonas alejadas de la orilla (A, B y C) y se evaluó la liberación de esporas en condiciones de laboratorio. Los resultados de este estudio indican que las condiciones de orilla serían propicias para la madurez de estructuras reproductivas y liberación de esporas en esta especie, condicionadas por los parámetros físico-químicos del agua, resaltando la temperatura y salinidad. Se contabilizó en promedio 274.91± 1.52 cistocarpos g^{-1}, 137 359.78 ± 2546.17 esporas g^{-1}, y un potencial reproductivo de 154 097.94 esporas g^{-1}. Se propone llevar a cabo más investigación que pueda complementar este trabajo para proponer planes de manejo.

Palabras claves: alga roja, agar agar, esporulación, acuicultura, cultivo

Abstract

Gracilariopsis lemaneiformis "pelillo" is an important red alga recognized worldwide for demonstrating a wide variety of services. The aim of this work is to evaluate the reproductive potential (RP) of individuals of the species extracted in Playa San Andrés, Pisco-Peru through the sporulation technique; for this, samples of the species were taken in areas far from the shore (A, By C) and the release of spores was evaluated in laboratory conditions. The results of this work indicate that the shore conditions would be conducive to the maturity of reproductive structures and the release of spores in this species, conditioned by the physicochemical parameters of the water, especially temperature and salinity. An average of 274.91 ± 1.52 cystocarps g^{-1} were counted ,14 950.08 ± 271.13 spores g^{-1}, and a reproductive potential of 154,097.94 spores g^{-1}. It is proposed to carry out more research that can complement this work to propose management plans.

Keywords: Red algae, agar agar, sporulation, aquaculture, cultivation

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Evaluación del potencial reproductivo de *Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariales: Rhodophyta) en San Andrés, Pisco-Perú.

Evaluation of the reproductive potential of *Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariales: Rhodophyta) in San Andres, Pisco-Peru.

Sofía Cielo Chung-Velásquez[1], Paul M, Baltazar Guerrero[1,2], Max S. Castañeda Franco[2]

[1]Carrera de Biología Marina, Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas, Universidad Científica del Sur, Lima 15067, Perú.

[2] Grupo de Investigación en Acuicultura Sostenible (GIAS); Laboratorio de Investigación en Cultivos Marinos (LICMA), Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación, Universidad Científica del Sur, Lima 15067, Perú.

Correspondencia: sofiacchv@gmail.com; pbaltazar@cientifica.edu.pe; mcastanedaf@cientifica.edu.pe

ORCID numbers: SCCV: 0000-0002-5046-6971, PMBG: 0000-0003-4071-4772, MSCF: 0000-0003-4455-3195.

RESUMEN

Gracilariopsis lemaneiformis "pelillo" es un alga roja de importancia reconocida a nivel mundial por proveer una amplia variedad de servicios. El objetivo de este trabajo es evaluar el potencial reproductivo (PR) de individuos de la especie extraídos en la playa San Andrés, Pisco-Perú a través de la técnica de liberación de esporas; para ello se tomaron muestras de la especie en zonas alejadas de la orilla (A, B y C) y se evaluó la liberación de esporas en condiciones de laboratorio. Los resultados de este estudio indican que las condiciones de orilla serían propicias para la madurez de estructuras reproductivas y liberación de esporas en esta especie, condicionadas por los parámetros fisicoquímicos del agua, resaltando la temperatura y salinidad. Se contabilizó en promedio 274.91± 1.52 cistocarpos g^{-1}, 137 359.78 ± 2546.17 esporas g^{-1}, y un potencial reproductivo de 154 097.94 esporas g^{-1}. Se propone llevar a cabo más investigación que pueda complementar este trabajo para proponer planes de manejo.

Palabras claves: alga roja, agar agar, esporulación, acuicultura, cultivo

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ABSTRACT

Gracilariopsis lemaneiformis "pelillo" is an important red alga recognized worldwide for demonstrating a wide variety of services. The aim of this work is to evaluate the reproductive potential (RP) of individuals of the species extracted in Playa San Andrés, Pisco-Peru through the sporulation technique; for this, samples of the species were taken in areas far from the shore (A, By C) and the release of spores was evaluated in laboratory conditions. The results of this work indicate that the shore conditions would be conducive to the maturity of reproductive structures and the release of spores in this species, conditioned by the physicochemical parameters of the water, especially temperature and salinity. An average of 274.91 ± 1.52 cystocarps g^{-1} were counted ,14 950.08 ± 271.13 spores g^{-1}, and a reproductive potential of 154,097.94 spores g^{-1}. It is proposed to carry out more research that can complement this work to propose management plans.

Keywords: Red algae, agar agar, sporulation, aquaculture, cultivation

INTRODUCCIÓN

Gracilariopsis lemaneiformis “pelillo” (orden Gracilariales) es un alga roja que se distribuye naturalmente de manera latitudinal desde Paita, Perú (5°05′21″ S, 81°06′51″ O), hasta Antofagasta, Chile (23°39′08″ S, 70°23′43″ O), donde se le puede encontrar principalmente en la zona del intermareal y sublitoral superior arenoso (Arakaki *et al*. 2015). Esta alga presenta reproducción asexual (vegetativa) y sexual (esporofitos), sobre los cuales influyen diversos factores ambientales tales como oleaje, mareas, intercambio de aguas, densidad y presencia de otras algas, sustrato e irradiancia (Jiang *et al.* 2017) que finalmente determinarán la liberación y asentamiento de esporas en el medio natural (Yang *et al*. 2006; Jiang *et al*. 2018) delimitando así el área geográfica de la especie (Bulboa *et al*. 2008; Chen *et al*. 2022).

Las especies del orden Gracilariales son consideradas de importancia mundial. Este grupo puede brindar una variedad de servicios a los consumidores, como la extracción de polisacáridos de agar de alta calidad; la extracción de productos naturales (ficoeritrina, hemaglutinina, etc.), que se

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

utilizan como materiales para biofiltración y biorremediación; y su uso directo e indirecto en productos farmacéuticos, cosméticos, agrícolas y nutraceúticos, entre otros. (Kain, 1995; Melo *et al*. 2002; Marin y Peña, 2011; Meinita *et al.* 2013; Liu *et al.* 2017; Song *et al.* 2021). *G. lemaneiformis* es un recurso de interés comercial global debido a sus características (Zhou *et al.* 2016), hecho especialmente apreciado en países asiáticos (China, Korea y Japón), donde se cultiva y estudia extensamente la especie, generando una cantidad significativa de información científica útil (Ye *et al.* 2006; Wang *et al.* 2020; Li *et al.* 2022; Pan et al. 2022, Pang *et al.* 2023).

En Perú, es extraída en grandes cantidades por pescadores artesanales directamente del medio marino, especialmente durante la temporada de primavera y verano, y vendida principalmente a empresas exportadoras (Castillo *et al*. 1999; Arakaki *et al.* 2015; Rodríguez *et al.* 2018). Esta actividad, únicamente extractiva, ha sido señalada como no sostenible e incluso como causa de impacto negativo en el ecosistema y en los servicios ecosistémicos que proporcionan al ser humano (Avila y Jaraj, 2020; Yang *et al.* 2021). A pesar de ello, el interés por la especie sigue en aumento, y la demanda no puede ser cubierta a través de la extracción directa, por lo que es necesario información científica que permita implementar biotecnias de cultivo para *G. lemaneiformis* (Wei *et al.* 2021).

G. lemaneiformis posee una morfología ramificada que le permite un rápido crecimiento y cobertura de sedimentos; así mismo, tiene la capacidad de adaptarse a diversos ambientes geográficos bajo una variedad de condiciones ambientales (Gerard, 1988) como turbulencias marinas, amplio rango de salinidad (20-35‰), temperatura (12-23ºC) y desecación, lo que la convertiría en una especie propicia para cultivo (Zhou *et al.*, 2013; Zhou *et al.* 2016; Zhang *et al.* 2020; Liu *et al.* 2021; Xiao *et al.* 2023). Además *G. lemaneiformis* se describe como reproductiva durante todo el año (González-Lejia *et al.* 2009).

Actualmente, el método más común para el cultivo de la especie es a través del crecimiento de fragmentos vegetativos (reproducción asexual). Sin embargo, es una actividad exhaustiva y laboriosa no óptima para producción (Freitas *et al.* 2021) ya que, para obtener los fragmentos necesarios y llevar a cabo la técnica, se requiere una considerable demanda de tiempo, mano de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

obra, e inclusive un stock inicial alto en biomasa para poder iniciar su cultivo. Además, la alta demanda y su rápida comercialización a nivel mundial, no permite brindar el tiempo necesario a la especie para una recuperación óptima de las praderas naturales, pudiendo ser considerada como una actividad insostenible (Dawes y Mathieson, 2008).

Otro método utilizado para propagar especies de macroalgas es la técnica de liberación de esporas, también conocida como "esporocultivo". Esta técnica presenta varias ventajas frente a la tradicional propagación vegetativa, dado que la liberación de esporas permite colonizar áreas de mayor tamaño con una menor cantidad de materia prima (esporas). Otras ventajas que presenta es que al germinar dan origen a gametos masculinos y femeninos que al fecundarse originan plántulas con una mayor variabilidad genética, lo cual brinda la oportunidad de mejorar o desarrollar características que sean de interés para los productores. Así mismo, permite proponer mejoras genéticas, crear nuevos bancos naturales, entre otras (Romo, 1988; Ren *et al.* 2006; Zhou *et al*. 2013; Xiao *et al.* 2023).

Esta técnica ha sido estudiada en especies del género *Gracilaria* para determinar si es viable para el cultivo, aprovechamiento de macroalgas (Umamaheswara, 1976; Umamaheswara y Subbarangaiah, 1981). Alveal *et al*. (1997) cultiva *G. chilensis* de individuos cistocárpicos para evaluar e incentivar el método de manejo de la especie a través de la técnica de liberación de esporas, destacando entre sus resultados que a partir de 200 g del alga se podía obtener densidades de 400 esporas cm^{-2}, y concluyendo que estas cantidades son viables para manejar en granjas comerciales en colaboración de cooperativas de pescadores. Glenn *et al*. (1996) aplica el método con *Gracilaria parvispora,* que mantuvo liberando esporas por 42 horas sobre cuerdas de nylon obteniendo densidades de 1810 esporas cm^{-2}, destacando que la cosecha que se obtiene puede ser entregada a las comunidades costeras para su posterior siembra, mientras una pequeña parte puede ser usada para producir nuevas esporas para el manejo de futuras generaciones. Así, la técnica del "esporocultivo" ha sido estudiada en especies de Gracilariales, pero ha sido poca difundida para el "Pelillo" (Hayashi *et al.* 2013).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial reproductivo de *Gracilariopsis lemaneiformis* de individuos extraídos en la playa San Andrés, Pisco-Perú, de tal manera que podamos determinar si la técnica de liberación de esporas en la especie en esta región nos podría brindar resultados viables para proponer un posible plan de cultivo de tal manera que podamos disponer de la especie de manera sostenible.

METODOLOGÍA

Recolección y procesamiento de las muestras

La colecta de individuos de *G. lemaneiformis* se llevó a cabo entre noviembre del 2021 y enero del 2022, en trabajo conjunto con pescadores de la Cooperativa de Trabajadores Pesqueros Artesanales Algas Marinas (COTRAPALMAR). Se colectaron muestras de manera aleatoria en 25 puntos en Playa San Andrés, caracterizada por ser una playa poco profunda con una zona intermareal extendida (13°42 ‘57.39” S, 76°13’16.30” O) (Figura 1). Los individuos seleccionados fueron aquellos que preferentemente presentaron la fase cistocárpica, para delimitar el trabajo y los objetivos propuestos.

Los puntos de muestreo aleatorio (25) fueron enumerados y clasificados por su distancia a la orilla. De esta manera, obtuvimos: Puntos cercanos a la orilla, 0 – 5 m “Zona A” (estación 1- 8), medianamente cercanas a la orilla, 5 – 20 m “Zona B” (estación 9 – 16), y alejadas de la orilla, 20 – 50 m “Zona C” (estación 17- 25) (Figura 1).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR



Figura 1. Mapa de Playa San Andrés, Pisco, mostrando su ubicación en Perú, y los 25 puntos de muestreo de colecta de *Gracilariopsis lemaneiformis* divididos en 3 zonas: A, B y C.

En cada punto donde se realizó el muestreo se procedió a tomar información de los parámetros fisicoquímicos de temperatura (°C), salinidad (UPS), pH, y oxígeno disuelto (O_2), empleándose para ello un equipo multiparámetro YSI PLUS. Cada punto fue georreferenciado con un GPS modelo GPS MAP64S.

Las muestras fueron colocadas en bolsas Ziploc y trasladadas al Laboratorio de Investigación en Cultivos Marinos (LICMA) de la Universidad Científica del Sur, sede Pisco. Una vez en las instalaciones del LICMA, las muestras fueron separadas de otras macroalgas, lavadas primero con abundante agua destilada y luego con agua de mar filtrada para liberar todo epifito y gránulos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

de arena presente en el alga. Finalmente se separaron las algas según la presencia o no de estructuras reproductivas (cistocarpos) (Figura 2A, 2B).



Figura 2. A. Baldes de transporte de muestras de individuos de *G. lemaneiformis*. **B.** Individuos *G. lemaneiformis* con estructuras reproductivas separados en bandejas para limpieza de epífitos. **C.** Trozos de 2 cm de *G. lemaneiformis* para control de pesado y biomasa. **D.** Observación de cistocarpos de *G. lemaneiformis* al estereoscopio.

Determinación del potencial reproductivo

Las frondas cistocárpicas obtenidas de cada punto muestreado fueron uniformizadas segmentándose en pequeños trozos (2 cm), y pesadas en una balanza analítica (AE-Adam SAB 125I) para luego proceder a agruparlas hasta alcanzar una biomasa de 0.10 g, que serían consideradas como réplicas (Figura 2C, 2D); se obtuvo 9 réplicas por cada una de las 25 zonas, analizando en total 225 muestras.

Posteriormente, se procedió a someterlas a "estrés por desecación", manteniendo los ejemplares trozados expuestos al aire y a temperatura ambiente en condiciones de laboratorio durante 3h, a fin de inducir la liberación de esporas (Infante y Candia, 1988; Wang *et al.* 2010). Al finalizar el tiempo de desecación, cada una de las réplicas se colocaron en viales con 5 mL de agua de mar durante tres horas para rehidratarlas. Pasado dicho tiempo, se procedió a fijar las esporas liberadas en los viales, aplicando 3 gotas de Lugol en cada vial.

Finalmente, se contabilizó el número de cistocarpos, y las esporas obtenidas por mililitro (esporas mL^{-1}). El conteo se llevó a cabo empleando una cámara de recuento *Sedgewick Rafter* según Alice (1971), así mismo se determinó el potencial reproductivo según Arbaiza (2016):

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

$$\frac{Esporas}{mL}(n) = \frac{Esporas\ contadas \times 1000}{Celdas}$$

$$\frac{Esporas}{Litro}(N) = \frac{n \times v \times 1000}{V}$$

$$Potencial\ Reproductivo\ (PR) = \frac{\#cistocarpos}{g} \times (\frac{Esp}{cistocarpos}) \times Wi$$

Donde:

n = número de media de esporas en 1mL de muestra de agua

v = volumen de concentrado de muestra de agua (mL)

V= volumen de agua total (litros)

Wi= Peso de individuo algal (g)

Identificación de estado de madurez de estructuras reproductivas

Paralelamente a la obtención de esporas, se realizó la descripción de los cistocarpos empleando un microscopio Leica DM500 y estereoscopio Leica Modelo S Apo Stereozoom, analizando el tamaño para identificar y describir los estados de madurez (maduro, inmaduro, en maduración) de estos, y el número de cistocarpos respecto de una biomasa determinada (Marín y Peña, 2011). Se clasificó los cistocarpos maduros y en maduración a aquellos que presentaron una forma globosa bien definida propensa a liberar las esporas en el momento apropiado, en cambio los cistocarpos inmaduros a aquellos que presentaron forma circular irregular de tamaño pequeño a forma de protuberancias sobre el alga (Figura 4).

Análisis de datos estadístico

Se realizaron pruebas de hipótesis de Shapiro-Wilk y la de homogeneidad de varianzas de Levene. Dado que los resultados no presentaron una distribución normal ($p<0.05$) en la prueba de Shapiro Wilk, se procedió a determinar la normalidad de datos empleándose pruebas no paramétricas, en este caso se empleó la prueba de Kruskal-Wallis. Las pruebas tomaron en consideración como variable dependiente: esporas mL^{-1}, esporas g^{-1}, cistocarpos mL^{-1}, cistocarpos g^{-1}, y la relación de esporas por cistocarpos. El análisis de la información se llevó a cabo con el uso del programa

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RStudio v4.3.2 para los datos. Los gráficos presentes en este estudio se obtuvieron con el programa de Excel 2016.

RESULTADOS

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk reveló que los datos de esporas mL^{-1}, esporas g^{-1}, cistocarpos mL^{-1}, cistocarpos g^{-1} no tienen una distribución normal predecible, sin embargo, los resultados de cantidad de esporas por cistocarpos presentes sí tenía una distribución normal. De manera similar, la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, centrado en la mediana, evidenció que existe varianza significativa estadísticamente en esporas mL^{-1}, cistocarpos mL^{-1}, cistocarpos g^{-1}, y esporas por cistocarpos, pero no en la cantidad de esporas g^{-1}. Así mismo, la prueba Kruskal-Wallis confirmó que hay diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes puntos de muestreo.

Análisis de parámetros fisicoquímicos

Tabla I. Parámetros fisicoquímicos de *G. lemaneiformis* por zonas muestreados mostrando valores promedios.

	A	B	C
T°	24.03 ±0.22	23.00 ±0.14	22.05 ±0.64
Sal	32.15 ±0.33	34.40 ±0.14	35.50 ±0.14
pH	7.92 ±0.05	7.74 ±0.12	7.57 ±0.12
O2	4.10 ±0.14	5.72 ±0.72	6.34 ±0.12

En síntesis, los valores de temperatura y pH tuvieron una tendencia de disminuir (A>B>C), mientras que los valores de salinidad y oxígeno disuelto presentaron una tendencia de aumentar (A<B<C) conforme nos alejamos de la línea de costa, respectivamente.

Potencial reproductivo

Con relación a la población de *G. lemaneiformis*, se encontró que aquellos individuos que se colectaron en la zona A presentaron un mayor número de esporas liberadas por gramo (194 654 ± 11 353 espora g^{-1}), mostrando diferencias significativas ($p<0,05$) en comparación a la zona B

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

(161 091 ± 14 826 espora g^{-1}) y C (56 335 ± 12 569 espora g^{-1}); siendo el promedio total de 137 359.78 ± 12 916.34 espora g^{-1} (Tabla II; Figura 3A).

Tabla II. Parámetros de rendimiento de *Gracilariopsis lemaneiformis* por zonas muestreadas mostrando valores mínimos, máximos y promedios ($p < 0,05$).

Zonas		Número de esporas g^{-1}	Número de Cistocarpos g^{-1}	Número de Esporas por Cistocarpos	Potencial Reproductivo (esporas gr^{1})
	Mínimo	191 587	343,0	526	180 395
A	Máximo	197 744	414,0	626	259 003
	Promedio	**194 654 ± 11 353**	**391.94 ± 6.45**	**552.0 ± 98.35**	**216 336**
	Mínimo	157 746	254	592	150 750
B	Máximo	165 248	300	706	211 671
	Promedio	**161 091 ± 14 826**	**279.44 ± 4.28**	**648.4 ± 116.02**	**181 205**
	Mínimo	52 444	140	358	50 162
C	Máximo	62.074	171	497	85 026
	Promedio	**56 335 ± 12 569**	**153.33 ± 3.15**	**422.3 ± 147.98**	**64 753**

En relación con el número de estructuras cistocárpicas por gramos de muestra se encontró que los individuos extraídos de la zona A presentaron una mayor cantidad de estructuras en comparación a las zonas B y C (A: 391.94 ± 6.45 g^{-1}, B: 279.44 ± 4.28 g^{-1} y C: 153.33 ± 3.15 $g^{-1)}$ ($p < 0,05$). En promedio, se obtuvieron 274.91 estructuras cistocárpicas g^{-1} (Tabla II; Figura 3B).

El potencial reproductivo de *G. lemaneiformis* fue variable en cada zona, el mayor número de esporas por gramo en los cistocarpos se obtuvo en la zona A (216 335.94 g^{-1}) seguida de la B (181 204.85 g^{-1}) y C (64 753.04 g^{-1}). El promedio que se obtuvo de las tres zonas (poblacional) fue de 154 097.94 esporas g^{-1} (Tabla II).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

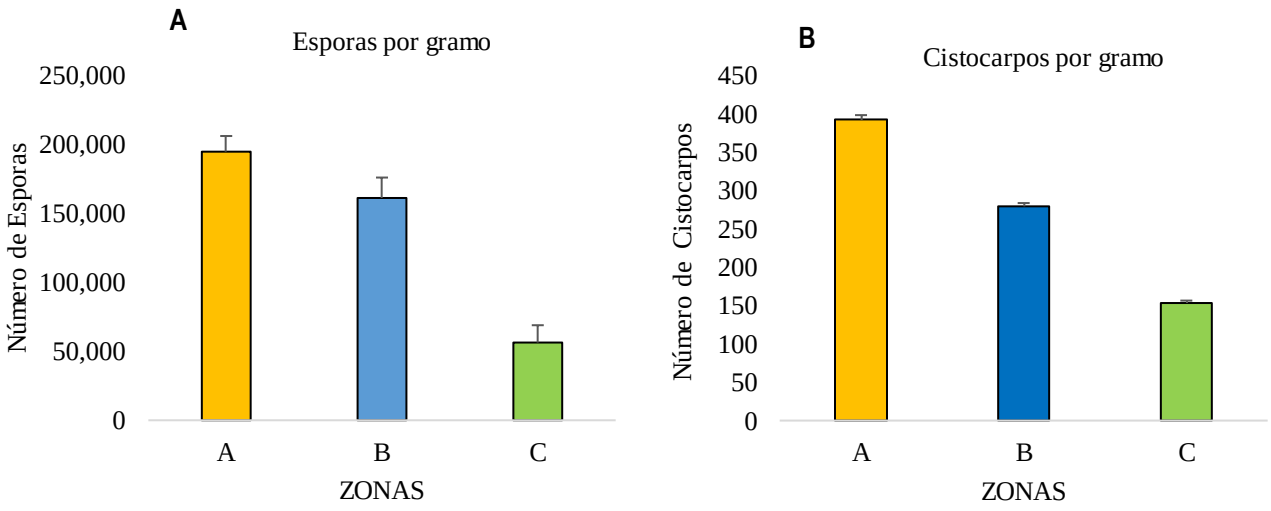
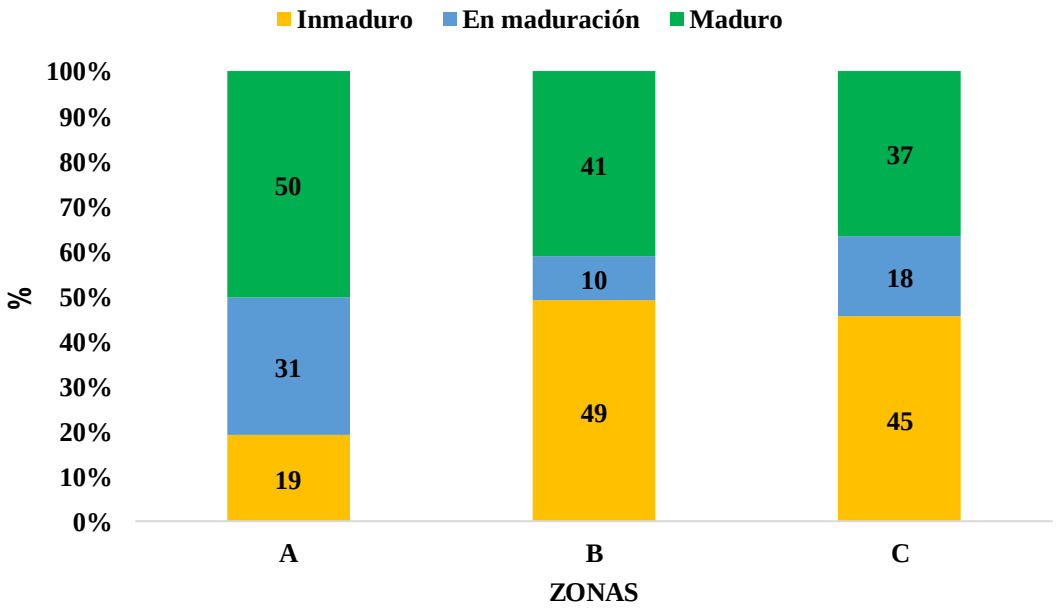


Figura 3. A: Número de esporas por gramo y B: número de cistocarpos por gramo por zona de muestreo de *Gracilariopsis lemaneiformis* ($p < 0,05$)

Análisis de la madurez de cistocarpos

El mayor porcentaje de cistocarpos maduros se encontró en la zona A (50%), seguido del B (41%) y C (37%); la cantidad de cistocarpos en maduración fue más alto en A, C y menor en B, y el mayor valor de cistocarpos inmaduros se pudieron ubicar en B, C; y menor en A (Figura 4).



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 4. Porcentaje de estadios de madurez sexual de los cistocarpos por zonas de *Gracilariopsis*. *lemaneiformis* en playa San Andrés, Pisco-Ica.

DISCUSIÓN

Como se ha mencionado antes, *G. lemaneiformis* es especialmente considerada una especie de valor, y por lo tanto ampliamente cultivada en Asia (China, Korea y Japón) por su uso en la producción de agar. Y, aunque la información existente en el continente asiático es considerable y provechosa (Ye *at al.* 2006; Wang *et al.* 2020; Li *et al*. 2022; Pan *et al*. 2022; Pang *et al*. 2023), debemos tener en cuenta que las condiciones fisicoquímicas de la zona son distintas para nuestra región. Por ello, estudios llevados a cabo en América del Sur, resultan ser más certeros para las condiciones ambientales que manejamos.

Se evidenció una clara diferenciación de resultados obtenidos entre las 3 zonas para cada uno de los objetivos (potencial reproductivo, nivel de madurez de cistocarpos, y número de cistocarpos g-1). Una posible explicación para tales diferencias, podrían deberse a las condiciones particulares que podemos encontrar en las 3 zonas donde se obtuvieron los individuos.

Los puntos de muestreo están localizados frente al Humedal San Andrés (Figura 1). El humedal se abastece directamente de efluentes de campos de riego y producción agrícola de Pisco, actividades económicas de la zona. Dado la entrada constante de estos cuerpos de agua, se darían lugar filtraciones a las zonas más próximas al humedal, como la zona “A”. Existen, además, canales hechos por los pobladores para desviar efluentes con desembocadura directa al mar. Las filtraciones que se dan en esta zona y la salida de agua de los canales podrían estar ocasionando la disminución de la salinidad, y quizás un efecto positivo en los individuos algales, dado que se encontró un mayor número de esporas y cistocarpos. La cercanía a la costa también ha sido señalada como un ambiente favorable para la especie, ya que brindaría ambientes estables que favorecen las condiciones de luz, entrada de nutrientes, y movimiento de agua. Buschmann *et al*., (1996), señaló las zonas más cercanas a la costa tuvieron un mayor éxito en un crecimiento rápido, e incluso mayor rendimiento de biomasa. De manera similar, las características propias de la playa

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

podrían tener un impacto en la temperatura registrada. Desde el mismo Humedal San Andrés en la costa, y en dirección al mar, existe una pendiente gradual con tendencia a disminuir progresivamente mientras nos alejamos de la costa, permitiendo una entrada paulatina al océano. La zona "A", con una profundidad promedio de 40 cm de columna de agua, permitiría el aumento y mantención de la alta temperatura en época de verano en comparación con las zonas más alejadas (Tabla I). Para la costa central del Perú se ha descrito zonas de vertientes con una salinidad de 30 ups, zonas bien iluminadas (100-200 umol fotones m^{-2} s^{-1}), temperaturas altas (20-25ºC) especialmente alrededor de 23 ºC, son condiciones idóneas para un rápido crecimiento y desarrollo de individuos de *Gracilariopsis lemaneiformis* (Buschmann *et al.* 1996).

La profundidad cumple un rol crucial en el desarrollo, crecimiento y reproducción de organismo fotosintéticos (Bellorín y Lemus, 1997), tales como las algas. Así, es razonable suponer que la profundidad en este caso pueda afectar la reproducción de *G. lemaneiformis* por la disponibilidad de luz, que también se ve directamente influida por la profundidad de la zona donde está asentada el alga. Ante ello, se confirma lo encontrado en la zona A donde se apreciaron individuos con elevado número de cistocarpos, un potencial reproductivo más alto, y un mayor número de estructuras reproductivas maduras, por lo que podríamos sugerir que estas condiciones están favoreciendo dichas características en los individuos algales de *G. lemaiformis.*

Este trabajo es el primero que se realiza en el Perú para evaluar el potencial reproductivo de *G. lemaneiformis,* enfocándonos en la liberación de esporas y evaluación de las estructuras reproductivas, así como en los parámetros ambientales y como estas podrían influir en la maduración y producción de esporas. El único estudio precedente sobre el cultivo de *G. lemaneiformis* en Perú es el de Cisneros *et al.*, (1997), desarrollado en San Bartolo, Lima, con la técnica de crecimiento vegetativo para la determinación del aumento de biomasa en distintas estaciones del año.

En otros países, los estudios relacionados a la metodología de esporocultivo, incluyen el de Liu *et al.*, (2018), quien indicó que las altas temperaturas, por encima de los 25 ºC, incrementaban significativamente la producción de tetraesporas en esta especie. En este estudio, fue la zona "A"

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

la que presentó la mayor temperatura (24 °C) que coincidió a su vez con la zona donde se contabilizó el mayor número de esporas.

Li *et al.* (2009) demostraron en su estudio que no solo el crecimiento de los individuos se veía beneficiado con la presencia y disponibilidad de nutrientes de Nitrógeno y Fósforo, si no que estos también influían directamente en la producción de tetraesporas. En este caso, los individuos con mayor producción de esporas se encontraban en la zona "A", que recibía la influencia directa de los efluentes, posiblemente cargados de nutrientes añadidos a las tierras de cultivo de donde provenían, y podrían haber tenido un efecto en los individuos más cercanos a la costa.

Guzmán y Robledo (1999) probaron distintas condiciones de iluminación durante la liberación de esporas de *Gracilaria cornea*, y lograron obtener su mejor resultado con 8h de iluminación y temperatura de 26°C, aproximadamente 9 000 carpoesporas por cistocarpo, muy superior a lo encontrado en el presente trabajo (648,4 ± 116.02 esporas/cistocarpo, para la zona B). Michetti *et al.* (2013) lograron conseguir 2000 carpoesporas por cistocarpo como pico de liberación en *Gracilaria gracilis* al aplicar y comparar distintas metodologías de esporulación, como descarga espontánea, shock osmótico, y desecación parcial, afirmando que estas metodologías podrían alternarse dependiendo de la intención del cultivo. Los individuos usados en este trabajo fueron recolectados del ambiente, en época de verano, caracterizado por largos periodos de luz (13h de luz:11h de oscuridad), ello contrasta con la elevada cantidad de individuos con estructuras reproductivas (cistocarpos) los cuales ya se habían generado a partir de estaciones anteriores con fotoperiodos cortos (invierno, primavera). Una colecta en otra estación del año podría brindarnos información valiosa que permita comparar la producción de esporas anualmente.

A pesar de los resultados, es importante señalar que las condiciones óptimas para la maduración de las estructuras reproductivas pueden variar dependiendo de la población de *G. lemaneiformis* que se está estudiando, y que va directamente vinculado con las condiciones ambientales locales de dónde se obtengan las muestras. Para especies de *Gracilariales*, se ha reportado que la esporulación se ve directamente influenciada por condiciones externas tales como irradiación, fotoperiodo, salinidad y temperatura (Glenn *et al.* 1996; Alveal *et al.* 1997). Así, con el tiempo se

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ha hecho evidente que para obtener una máxima liberación de esporas se debe experimentar con distintos factores fisicoquímicos, así como con metodologías, para obtener el máximo rendimiento posible.

Estudios para evaluar la viabilidad de los cultivos de *G. lemaneiformis* siguen desarrollándose, enfocándose en la eficiencia de la producción, y el aprovechamiento de los recursos para un manejo viable de la producción de la especie. A pesar de ello, también es importante tener en cuenta que la presencia de individuos fértiles en campo no garantiza la liberación de esporas. En India, Chennubhotla *et al*. (1986) tomaron muestras tetraesporofíticas y cistocárpicas *G. lemaneiformis* para evaluar su viabilidad reproductiva, pero, ninguna liberó esporas en condiciones de laboratorio. Así, se demuestra de manera similar la importancia de estudiar las condiciones que influyen o podrían estar ligados a la liberación de esporas de las poblaciones a pesar de la aparente fertilidad que presentan. Por ejemplo, el sustrato ha demostrado ser un factor determinante en el tipo de reproducción que tendrá lugar para el género. Aguilar *et al.* (1993) observó que, en sustratos suaves, el desarrollo de esporas era improbable y por lo tanto predominaba la reproducción vegetativa. En cambio, en sustratos duros, se favorecía el asentamiento de esporas y permitía a especie alternar entre sus distintas etapas de vida. Otro estudio demostró que ambos tipos de esporas (tetra y carposporas) de *G. lemaneiformis* pueden sobrevivir algunas semanas en oscuridad absoluta (Bird *et al.* 1977) e inclusive unos días de desecación (Wang *et al.* 2010) propone que las condiciones óptimas para la liberación de esporas para el cultivo de *G. lemaneiformis* son: temperatura óptima es 20ºC, la cantidad de tetraesporas liberadas aumenta con el incremento de la salinidad del agua, obteniendo los mejores resultados a una salinidad de 30 µmol m^{-2} s^{-1}. También, para *G. lemaneiformis* se ha reportado su mejor rendimiento al final de la noche, teniendo mejores resultados al alargar la etapa nocturna. (Umamaheswara, 1976; Umamaheswara y Subbarangaiah, 1981).

Por otro lado, aunque la mayor parte de los estudios se concentran en encontrar las condiciones favorables ambientales para la liberación de esporas, hemos de tener en cuenta los retos que vienen y vendrán con los cultivos. Egan *et al.* (2001) destacaron que, durante un cultivo

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

controlado, uno de los principales desafíos que encontraron fue el control de bacterias y epífitos, en el cual lograron determinar que pueden inhibir la germinación de las esporas.

Así, en estudios globales realizados hasta el momento se han investigado varios aspectos del cultivo de *Gracilariopsis lemaneiformis*, incluidos crecimiento (Yang *et al*. 2006, Ye *et al*. 2006), rendimiento de biomasa (Zhou *et al*. 2013, 2016), composición bioquímica (Zhang *et al.* 2020) y requisitos ambientales (Pan *et al.* 2022). Estos destacan finalmente la importancia de optimizar las condiciones de cultivo para maximizar el crecimiento y la productividad de esta especie, al tiempo que intentamos minimizar el impacto de extracción en los ecosistemas. Por ello es importante reconocer el potencial reproductivo de las praderas naturales y su capacidad de producción de semilla a partir de esporas.

En general, *G. lemaneiformis* tiene un gran potencial como fuente de biomasa para la producción de alimentos y otros bioproductos, particularmente en países como Perú donde la acuicultura de algas es una industria en crecimiento. Sin embargo, se evidencia la necesidad de realizar más investigación para comprender completamente los requisitos ambientales y el potencial de esta especie, sobre todo para proponer una nueva metodología reproductiva a aplicar, como lo es la liberación de esporas, así como para desarrollar prácticas de cultivo sostenibles en el país.

Los resultados de este estudio pueden usarse para proponer medidas de manejo de la pradera de San Andrés. Los datos obtenidos en este trabajo pueden complementarse con estudios de biomasa para determinar la capacidad de producción de esporas en una pradera. A su vez, los datos de producción pueden ser empleados con fines de desarrollo de un esporo-cultivo de la especie para un posible escalamiento a futuro.

CONCLUSIÓN

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

El potencial reproductivo de la *G. lemaneiformis*, la distribución de nivel de madurez de cistocarpos, y el número de cistocarpos por gramos de alga, presentan diferencias significativas, dependiendo de la zona de extracción de individuos, más no la cantidad de esporas por cistocarpos. De todas las muestras de individuos algales de *Gracilariopsis lemaneiformis* recolectados en la playa San Andrés, se pudo obtener en promedio: 137 359 espora g^{-1}, 275 cistocarpos, Potencial Reproductivo de 154 097 esporas gr^{-1}. Los datos de este trabajo señalan que las condiciones de orilla serían propicias para la madurez de estructuras reproductivas y liberación de esporas en esta especie. Es necesario llevar a cabo otros estudios que puedan complementar esta investigación, como el asentamiento de esporas, la germinación, las evaluaciones de producción de esporas en diferentes épocas del año y la estimación de la biomasa en las praderas naturales. Estos estudios podrían llevar a sugerir planes de manejo en la región costera del Perú. Enfatizamos la necesidad de equilibrar los beneficios económicos de la extracción de algas con la preservación para mantener los ecosistemas marinos locales saludables y sostenibles.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Contribuciones de los autores: Conceptualización, P.B. y M.C. y S.C.; metodología, S.C., M.C. y P.B.; software, S.C.; validación, P.B., M.C., y S.C.; análisis formal, S.C., M.C. y P.B.; investigación, S.C., M.C. y P.B.; recursos, P.B. y M.C.; datos curación, P.B.; redacción: preparación del borrador original, S.C.; redacción: revisión y edición, S.C.; P.B. y M.C.; supervisión, PB; administración de proyectos, P.B.; adquisición de financiación, P.B. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: Esta investigación fue financiada por el Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (Contrato Nro. 452-2020-PNIPA-SUBPROYECTO y la Universidad Científica del Sur (UCSUR Nº 056-2022-PRO99): "Implementación de un plantel de cultivo piloto comercial de *Gracilariopsis lemaneiformis* "pelillo" empleando dos sistemas de cultivo (fondo y suspendido) para su evaluación en el rendimiento de obtención del ficocoloide agar".

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles en autor correspondiente, Paul Baltazar, previa solicitud razonable.

Agradecimientos: Los autores agradecen a la Cooperativa de Trabajadores Pesqueros Artesanales Algas Marinas (COTRAPALMAR) por su apoyo en las actividades en el mar.

Conflictos de intereses: Los autores afirman que no tienen conflictos de intereses. Según el OFICIO Nº 00001530-2022-PRODUCE/DECHDI, se obtuvo el permiso correspondiente para recolectar las muestras de las macroalgas en estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Alice, J. B. M. 1971. Phytoplankton Sampling with Sedgwick Rafter Cell. Limnol. Oceanogr., 16 (1): 19-28. https://doi.org/10.4319/lo.1971.16.1.0019

Aguilar-Rosas, R., R. Marcos-Ramírez, J. M. Lobo-Niembro and J. A. Zertuche-González. 1993. Variación estacional de fases reproductoras y vegetativa de *Gracilaria pacifica* Abbott, en el Estero de Punta Banda, Baja California, México. Cienc. Mar. 19: 219-228. https://doi.org/10.7773/cm.v19i2.927

Arakaki, N., W. E. Schmidt, P. Carbajal and S. Fredericq. 2015. First occurrence of *Gracilaria chilensis*, and distribution of *Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariaceae, Gracilariales) in Peru on the basis of rbc L sequence analysis. Phytotaxa, 208 (2): 175-181. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.208.2.7

Arbaiza, S. 2016. Viabilidad reproductiva para el cultivo de *Chondracanthus chamissoi* proveniente de tres poblaciones del litoral peruano. Tesis Tesis MSc Acui., Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 114 p. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2772

Avila-Peltroche, J. and J. Padilla-Vallejos. 2020. The seaweed resources of Peru. Bot. Mar., 63 (4):381-394. https://doi.org/10.1515/bot-2020-0026

Alveal, K., H. Romo, C. Werlinger and E. C. Oliveira. 1997. Mass cultivation of the agar-producing alga *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta) from spores. Aquaculture 148(2-3): 77-83. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01415-9

Bird, N., J. McLachlan and D. Grund. 1977. Studies on *Gracilaria*. 5. In vitro life history of *Gracilaria* sp. from the Maritime Provinces. Can. J. Bot. 55: 1282-1290. https://doi.org/10.1139/b77-149

Bellorín, A. y A. Lemus. 1997. Efecto de la temperatura y la irradiancia en el crecimiento *in vitro* del alga *Gracilariopsis tenuifrons* (Bird & Oliveira) Fredericq & Hommersand (Gracilariales, Rhodophyta). Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente 36: 61-67.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Bulboa, C., J. Macchiavello, E. Oliveira and K. Véliz. 2008. Grow rate differences between four Chilean populations of edible seaweed *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales). Aquac. Res., 39(14): 1550-1555. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02028.x

Buschmann, A. H., D. A. López and A. Medina. 1996. A review of the environmental effects and alternative production strategies of marine aquaculture in Chile. Aquac. Eng., 15(6): 397–421. https://doi.org/10.1016/S0144-8609(96)01006-0

Castillo, S. J., P. S. Espinoza y M.V. Valdivieso. 1999. Guía para el Cultivo del alga *Gracilaria* y manejo de praderas naturales. Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES), Lima. 22 pp.

Cisneros, R., J. Bautista y C. Santos. 1997. Cultivo experimental del alga *Gracilariopsis lemaneiformis* en ambiente natural. Informe progresivo, N°60, Instituto del Mar del Perú – IMARPE. DGIRH 39-40. https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/1455/1/IP%2060.1.pdf

Chen, X., Y. Tang, X. Sun, X. Zhang and N. Xu. 2022. Comparative transcriptome analysis reveals the promoting effects of IAA on biomass production and branching of *Gracilariopsis lemaneiformis*. Aquaculture, 548 (2): 737678. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737678

Chennubhotla, V. S. K., N. Kaliaperumal, J. R. Ramalingam and S. Kalimuthu. 1986. Growth, reproduction and spore output in Gracilaria foliifera (Forsskal) Boergesen and *Gracilariopsiss joestedtii* (Kylin) Dawson around Mandapam. Ind. J. Fish. 33: 76-84. https://eprints.cmfri.org.in/id/eprint/373

Dawes, C. J. and A. C. Mathieson. 2008. The seaweeds of Florida. University Press of Florida, Florida. 656. https://upf.com/book.asp?id=9780813031484

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Egan, S., S. James, C. Holmström and S. Kjelleberg. 2001. Inhibition of algal spore germination by the marine bacterium *Pseudoalteromonas tunicate*. FEMS Microbiol. Ecol., 35(1): 67-73. https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2001.tb00789.x

Freitas, M.V., T. Mouga, A. P. Correia, C. Afonso and T. Baptista. 2021. New Insights on the Sporulation, Germination, and Nutritional Profile of *Gracilaria gracilis* (Rhodophyta) grown under Controlled Conditions. J. Mar. Sci. Eng. 9: 562. https://doi.org/10.3390/jmse9060562

Gerard, V. 1988 Ecotypic diferentiation in light-related traits of the kelp *Laminaria saccharina*. Mar. Biol., 97, 25-36. https://doi.org/10.1007/BF00391242

Glenn, E. P., D. Moore, K. Fitzsimmons and C. Azevedo. 1996. Spore culture of the edible red seaweed, *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta). Aquaculture, 142(1-2): 59-74. https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01249-4

González-Leija, J.A., E. Hernández-Gariba, I. Pacheco-Ruíz, J. Guardado-Puentes, J. Espinoza-Avalos, J. Lópe-Vivas and J. Bautista-Alcantar. 2009. Optimization of the yield and quality of agar from *Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariales) from the Gulf of California using an alkaline treatment. J Appl Phycol 21, 321–326. https://doi.org/10.1007/s10811-008-9370-0

Guzmán-Urióstegui, A. and D. Robledo. 1999. Factors affecting sporulation of *Gracilaria cornea* (Gracilariales, Rhodophyta) carposporophytes from Yucatan, Mexico. Hydrobiologia, 398: 285–290. https://doi.org/10.1023/A:1017071427664

Hayashi, L., C. Bulboa, P. Kradolfer, G. Soriano and D. Robledo. 2013. Cultivation of red seaweeds: a Latin American perspective. J. Appl. Phycol. 26: 719-727. https://doi.org/10.1007/s10811-013-0143-z

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Infante, R. y A. Candia. 1988. Cultivo de *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss e *Iridaea ciliata* Kiitzing (Rhodophyta, Gigartinaceae) en laboratorio: esporulación inducida y colonización de carposporas en diferentes sustratos. Gayana Bot. 45: 297-304

Jiang, H., D. Zou and B. Chen. 2018. Effects of reduced carbon supply and sunlight on photosynthetic and antioxidant activities of *Gracilariopsis lemaneiformis*, and subsequent changes of these activities under recovery conditions with different salinities. Aquaculture 493: 258-263. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.014

Kain, J. and C. Destombe. 1995. A review of the life history, reproduction and phenology of *Gracilaria*. J. Appl. Phycol., 7: 269-281. https://doi.org/10.1007/BF00004001

Li, P., H. Chen, J. Zhang, X. Feng, B. Xiao, Y. Hu and Z. Sui. 2022. Effects of nutrient deficiency on the branch phenotype of the macroalgae *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta). Aquaculture, 562 (2022), Article 738794, 10.1016/j.aquaculture.2022.738794

Li, T., J. Wu, H. Du, P. Pei, C. Yang, J. Huang, X. Liu, H. Liang, W. Chen, D. Zhang and S. Lin. 2022. Environmental nitrogen and phosphorus nutrient variability triggers intracellular resource reallocation in *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta). Algal Research, Volume 66,102778. ISSN 2211-9264, https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102778

Liu, L., D. Zou, H. Jiang, B. Chen and X. Zeng. 2018. Effects of increased CO2 and temperature on the growth and photosynthesis in the marine macroalga Gracilaria lemaneiformis from the coastal waters of South China. J Appl Phycol 30, 1271–1280 (2018). https://doi.org/10.1007/s10811-017-1316-y

Liu, S., J. Zhang, C. Hu, X. Sun and N. Xu. 2021. Physiological and transcriptome analysis of γ-aminobutyric acid (GABA) in improving *Gracilariopsis lemaneiformis* stress tolerance at high temperatures. Algal Res., 60: 102532 https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102532

Marin-Salgado, H., y E. Peña-Salamanca. 2011. Características histológicas de las fases reproductivas del alga roja *Gracilaria blodgettii* (Gracilariaceae). Rev. Acad. Colomb.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Cienc. 35 (135): 125-132. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082011000200001

Meinita, M. D. N., B. Marhaeni, T. Winanto, G. T. Jeong, M. N. A. Khan and Y. K. Hong. 2013. Comparison of agarophytes (*Gelidium*, *Gracilaria*, and *Gracilariopsis*) as potential resources for bioethanol production. J. Appl. Phycol. 25: 1957-1961. https://doi.org/10.1007/s10811-013-0041-4

Melo, M. R. S., J. P. A. Feitosa, A. L. P. Freitas, R. C. M. de Paula, S. Mazadme, P. K. Ghosal, C. A. Pujol, M. J. Carlucci, E. B. Damonte and B. Ray. 2002. Isolation, chemical investigation and antiviral activity of polysaccharides from *Gracilaria corticata* (Gracilariaceae,Rhodophyta). Int. J. Biol. Macromol., 31(1-3): 87-95. https://doi.org/10.1016/S0141-8130(02)00070-3

Michetti, K., L. Martín and P. Leonardi. 2013. Carpospore release and sporeling development in *Gracilaria gracilis* (Gracilariales, Rhodophyta) from the southwestern Atlantic coast (Chubut, Argentina). J. Appl. Phycol., 25: 1917-1924. https://doi.org/10.1007/s10811-013-0029-0

Pan, Z., Y. Yu, Y. Chen, C. Yu, N. Xu, and Y. Li. 2022. Combined effects of biomass density and low-nighttime temperature on the competition for growth and physiological performance of *Gracilariopsis lemaneiformis* and *Ulva prolifera*. Algal Research, Volume 62, 102638. ISSN 2211-9264. https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102638

Pang, T., L. Lu, J. Xue, X. Xin and J. Liu. 2023. A new mode of cultivating *Gracilariopsis lemaneiformis* for saving environmental and economic costs: Keeping a full stand of vegetative frond cuttings in northern China during the winter. Aquaculture, Volume 571,739459. ISSN 0044-8486. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739459

Ren, X., Zhang, X. and Z. Sui. 2006. Identification of phase relative genes in tetra sporophytes and female gametophytes of Gracilaria/*Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariales,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Rhodophyta). Electron. J. Biotechnol., 9(2): 127-132. https://doi.org/10.2225/vol9-issue2-fulltext-11

Rodríguez, E., M. Fernández, E. Alvítez, L. Pollack, L. Luján, C. Geldres y Y. Paredes. 2018. Algas marinas del litoral de la región La Libertad, Perú. Sci. Agropecu., 9(1): 71-81. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.08

Romo, H. 1988. Cultivo de algas mediante esporas. Investig. Pesq., 35: 89-98.

Song, T., L. Liu, Q. Tang, S. Xiang, B. Wang, S. Zhang, X. Wang, Y. Chu, D. Luo and J. Lin. 2021. Antioxidant neo agar ooligosaccharides (NAOs) and dietary fiber production from red algae *Gracilariopsis lemaneiformis* using enzyme assisted one-step process. Food Hydrocoll. 125: 107382. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107382

Umamaheswara R. M. 1976. Spore liberation in *Gracilaria corticata* J. Agardh growing at Mandapam. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 21(1): 91-98. https://doi.org/10.1016/0022-0981(76)90071-X

Umamaheswara, R. M. and G. Subbarangaiah. 1981. Effects of environmental factors on the diurnal periodicity of tetraspores of some Gigartinales (Rhodophyta). 209-214. En: Levring, T. (Ed.). Xth International Seaweed Symposium. Walter de Gruyter, Berlin. 209-214. 794 p. https://doi.org/10.1515/9783110865271-019

Wang, Z., G. Wang and J. Niu. 2010. Optimization of conditions for tetraspore release and assessment of photosynthetic activities for different generation branches of *Gracilaria lemaneiformis* Bory. Chin. J. Ocean. Limnol. 28(4): 738-748. https://doi.org/10.1007/s00343-010-9908-2

Wang, X., L. He, Y. Ma, L. Huan, Y. Wang, B. Xia and G. Wang. 2020. Economically important red algae resources along the Chinese coast: History, status, and prospects for their utilization. Algal Res., 46: 101817. https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101817

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Wei, Z., Y. Zhang, F. Yang, J. Liang and L. Long. 2021. Increased light availability modulates carbon and nitrogen accumulation in the macroalga *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta) in response to ocean acidification. Environ. Exp. Bot. 187: 104492. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104492

Xiao, B., Hu, Y., Feng, X. and Sui, Z. 2023. Breeding of New Strains of *Gracilariopsis lemaneiformis* with High Agar Content by ARTP Mutagenesis and High Osmotic Pressure Screening. Mar Biotechnol 25, 100–108 (2023). https://doi.org/10.1007/s10126-022-10184-2

Yang, Y. F., X. G. Fei, J. M. Song, H.Y. Hu, G.C. Wang and I.K. Chung. 2006. Growth of *Gracilaria lemaneiformis* under different cultivation conditions and its effects on nutrient removal in Chinese coastal waters. Aquaculture, 254(1-4): 248–255. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.029

Yang, Y., W. Li, Y. Li and N. Xu. 2021. Photophysiological responses of the marine macroalga *Gracilariopsis lemaneiformis* to ocean acidification and warming. Mar. Environ. Res., 163: 105204. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105204

Ye, N., H. Wang and G. Wang. 2006. Formation and early development of tetraspores of *Gracilaria lemaneiformis* (Gracilaria, Gracilariaceae) under laboratory conditions. Aquaculture, 254(1-4): 219-226. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.026

Zhang, X., C. Hu, X. Sun, X. Zang, X. Zhang, T. Fang and N. Xu. 2020. Comparative transcriptome analysis reveals chitooligosaccharides-induced stress tolerance of *Gracilariopsis lemaneiformis* under high temperature stress. Aquaculture, 519: 734876. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734876

Zhou, W., Z. Sui, J. Wang and L. Chang. 2013. An orthogonal design for optimization of growth conditions for all life history stages of *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta). Aquaculture, 392–395: 98-105. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.02.008

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Zhou W, Y. Hu, Z. Sui, F. Fu, J. Wang, L. Chang, W. Gou and B. Li. 2013. Genome Survey Sequencing and Genetic Background Characterization of *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta) Based on Next-Generation Sequencing. PLOS ONE 8(7): e69909. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069909

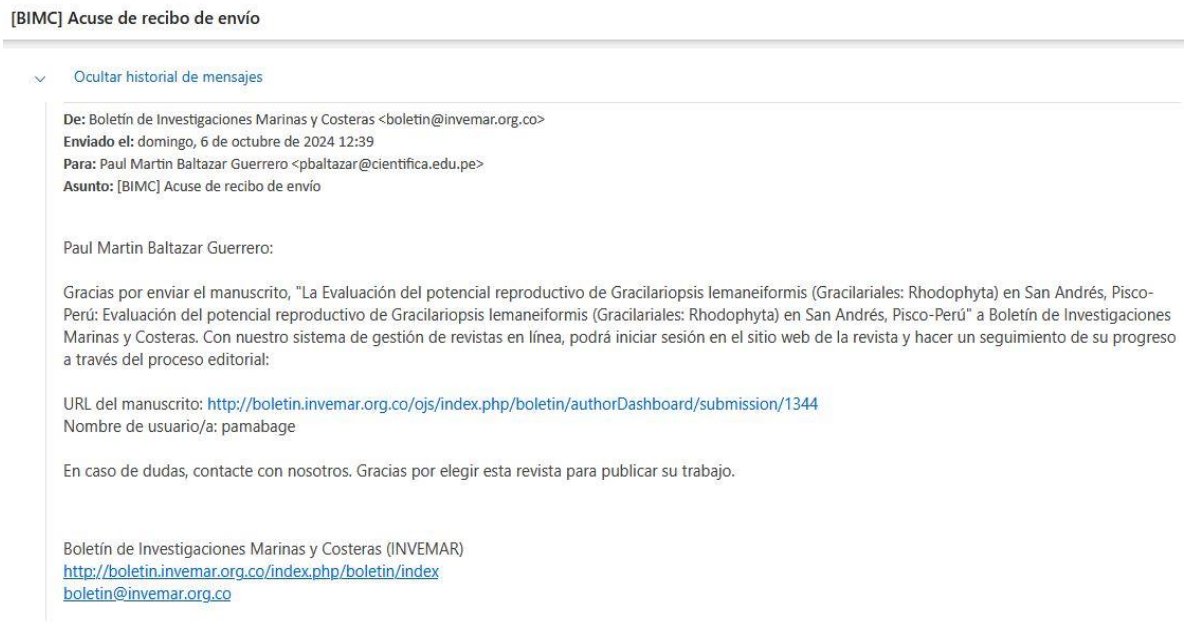
Zhou, W., Z. Sui, J. Wang, Y. Hu, K.H. Kang, H. B. Kim and Z. Niaz. 2016. Mass cultivation of economically important red alga *Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariaceae, Rhodophyta) from tetraspores and carpospores. Aquaculture, 460: 25-31. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.052

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexos

ANEXO XII.

a) Evidencia del envío a revista científica



[BIMC] Acuse de recibo de envío

Ocultar historial de mensajes

De: Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras <boletin@invemar.org.co>
Enviado el: domingo, 6 de octubre de 2024 12:39
Para: Paul Martin Baltazar Guerrero <pbaltazar@cientifica.edu.pe>
Asunto: [BIMC] Acuse de recibo de envío

Paul Martin Baltazar Guerrero:

Gracias por enviar el manuscrito, "La Evaluación del potencial reproductivo de Gracilariopsis lemaneiformis (Gracilariales: Rhodophyta) en San Andrés, Pisco-Perú: Evaluación del potencial reproductivo de Gracilariopsis lemaneiformis (Gracilariales: Rhodophyta) en San Andrés, Pisco-Perú" a Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito: http://boletin.invemar.org.co/ojs/index.php/boletin/authorDashboard/submission/1344
Nombre de usuario/a: pamabage

En caso de dudas, contacte con nosotros. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR)
http://boletin.invemar.org.co/index.php/boletin/index
boletin@invemar.org.co

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

b) Copia de documento de aprobación del comité de ética

COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y BIODIVERSIDAD

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

CONSTANCIA Nº 091-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2022

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro:	**089-2022-PRE5**
Título:	**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL REPRODUCTIVO DE *Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariales: Rhodophyta) EN SAN ANDRÉS, PISCO**
Investigador(a):	**Sofía Cielo Chung Velásquez**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente. Adicionalmente, en el contexto de la pandemia de enfermedad por COVID-19, le recomendamos cumplir con las normas publicadas por el estado peruano.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 19 de marzo de 2024**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 20 de setiembre de 2022

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR · Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad · UCSUR

Méd. Vet. Milena Paola Montenegro Veja
Presidenta (e)
Comité Institucional de Ética en Investigación
con Animales y Biodiversidad

Asesoría al postulante
T. /(511) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
• Campus Villa 2 - Panamericana Sur km 19
• Calle Cantuarias 398, Miraflores

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

c) Copia de resolución directoral de aprobación del proyecto de tesis (si correspondiese)

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 058-DACBM-DAFCVB-U. CIENTÍFICA-2022

Lima, 20 de setiembre del 2022

Visto el proyecto de tesis presentado por la estudiante de la Carrera de Biología Marina, se expide la presente Resolución:

CONSIDERANDO:

- Que, para optar el título profesional en Biología Marina, de la Carrera de Biología Marina de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas de la Universidad Científica del Sur, es necesario la realización y sustentación de una tesis.
- Que, el Reglamento de Tesis pertinente, dispone que el Proyecto de Tesis debe ser presentado a la Carrera de acuerdo con el perfil aprobado, el cual debe ser dictaminado por el Comité de Investigación.
- Que, la estudiante ha cumplido con presentar su proyecto de tesis, bajo la asesoría de sus asesores.
- Que la Comisión de Grados y Títulos de la Dirección ha emitido una evaluación favorable y recomienda la inscripción del proyecto citado.

Se expide la resolución:

Estudiante:	**SOFÍA CIELO CHUNG VELÁSQUEZ**
Título:	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL REPRODUCTIVO DE *Gracilariopsis lemaneiformis* (Gracilariales: Rhodophyta) EN SAN ANDRÉS, PISCO.
N° Registro:	089-2022-PRE5
N° constancia Ética:	N° 091-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2022
Asesor:	Paul Martin Baltazar Guerrero

Estando a lo dispuesto por el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Científica del Sur, el Reglamento de Tesis de la Carrera y a las normas vigentes, en uso de las atribuciones conferidas a la Carrera,

SE RESUELVE:

1° **APROBAR** el mencionado Proyecto de Tesis para optar el título profesional en Biología Marina.

2° Declarar a la estudiante expedita para la realización del Proyecto de Tesis aprobado.

T // (511) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

3° Nombrar al docente mencionado como Asesor del Proyecto de Tesis, que realizará la estudiante.

4° Disponer la inscripción del proyecto de tesis aprobado en el Registro de Tesis para optar el Título Profesional de la Carrera de Biología Marina de la CIENTÍFICA.

Regístrese, comuníquese y archívese.



MG. NATHALY MARINA VARGAS LOPEZ
DIRECTORA ACADÉMICA
CARRERA BIOLOGÍA MARINA

T // (511) 610 6738
T // (511) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis