

CARACTERÍSTICAS DEL AGAR DE *Gracilariopsis tenuifrons* (BIRD & OLIVEIRA) FREDERICQ & HOMMERSAND (GRACILARIALES, RHODOPHYTA) SOMETIDA A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE AMONIO

SERGIO LEMUS¹, ANDRÉS LEMUS^{2†} & ANDREINA LEMUS^{2*}

¹ *Universidad Nacional Experimental Politecnica de la Fuerza Armada Nacional Bolivariana (UNEFA). lemus.sergio@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-5543-2060>*

² *Dpto. de Oceanografía, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Núcleo de Sucre, Cumaná. *Autor de correspondencia: andreinamarielys@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9297-1055>*

RESUMEN: Se estudió la variación de la tasa de crecimiento en *Gracilariopsis tenuifrons*, provenientes de la Península de Araya (estado Sucre, Venezuela), sometida a diferentes concentraciones de NH_4^+ (2, 4, y 8 $\mu\text{mol. L}^{-1}$), así como la fuerza, punto de fusión y punto de gelificación del gel. El trabajo experimental se realizó bajo condiciones de luz y fotoperíodo naturales. Se determinó la mayor tasa de crecimiento (4%) la cual se presentó durante la primera semana, y se obtuvieron diferencias significativas para la tasa de crecimiento en relación con las semanas de muestreo. Mientras que las concentraciones de amonio con respecto a los parámetros considerados en este trabajo no arrojaron interacciones significativas. Se realizó extracción de agar y se analizó el rendimiento, fuerza de gel, punto de fusión y punto de gelificación en relación con las concentraciones. Los valores obtenidos fueron 24,34 y 27,39%, 257,03 y 319,87 g/cm^2 , 81,67 y 86,67 °C, 35 y 37 °C, respectivamente; y en relación a las semanas de muestreo los resultados observados fueron 24,0 y 26,45%, 231,46 y 374,12 g/cm^2 , 82,0 y 84,50 °C, 35,33 y 37,16 °C para los mismos parámetros respectivamente, según estos resultados se podría establecer como valores apropiados para las zonas de cultivo de *G. tenuifrons*, aquellos cuyo rango de amonio se encuentren dentro de los utilizados en este estudio, pues no afectarían la tasa de crecimiento del alga ni las características reológicas del agar obtenido.

Palabras claves: *Gracilariopsis*, macroalga, cultivo, agar, estado Sucre.

ABSTRACT: The variation of the growth rate in *Gracilariopsis tenuifrons*, from the Araya Peninsula (Sucre state, Venezuela), subjected to different concentrations of NH_4^+ (2, 4, and 8 $\mu\text{mol. L}^{-1}$), as well as the strength, point melting and gel point of the gel. The experimental work was carried out under light and photoperiod natural conditions. The highest growth rate (4%) was determined, which occurred during the first week, and significant differences were obtained for the growth rate in relation to the sampling weeks. While the ammonium concentrations in relation to the parameters considered in this work did not show significant interactions. Agar extraction was carried out where the agar yield, gel strength, melting point and gel point were analyzed in relation to the concentrations. The values obtained were 24.34 and 27.39%, 257.03 and 319.87 g/cm^2 , 81.67 and 86.67°C, 35 and 37°C, respectively; and in relation to the weeks of sampling the observed results were 24.0 and 26.45%, 231.46 and 374.12 g/cm^2 , 82.0 and 84.50 °C, 35.33 and 37.16 °C for the same parameters, respectively. According to these results, it could be established as appropriate values for the cultivation areas of *G. tenuifrons*, those whose ammonium range is within those used in this study, since they would not affect the algae growth rate or the rheological characteristics of the agar obtained.

Key words: *Gracilariopsis*, macroalgae, culture, agar, Sucre state.

INTRODUCCIÓN

El creciente interés por la explotación industrial de productos naturales extraídos de las algas marinas ha traído como consecuencia la necesidad de desarrollar nuevas investigaciones y de profundizar las ya existentes en los distintos ámbitos del conocimiento con relación a estos vegetales marinos.

Estudios sobre ecología, fisiología y biotecnología de las algas son áreas donde los trabajos realizados son relativamente escasos, a pesar de la importancia que tienen para el hombre, en comparación con los avances obtenidos en la agricultura.

En regiones orientales como Japón, China, Corea y Filipinas, las cuales tienen una cultura dependiente de los recursos provenientes del mar, el cultivo de algas marinas destinadas a la elaboración de productos alimenticios para consumo humano representa una de sus más altas fuentes de ingresos (JENSSEN 1993; ØVERLAND *et al.* 2019).

En el 2020 se produjeron 36 millones de toneladas (peso fresco) de algas, con un crecimiento de 2%, siendo los países asiáticos los principales productores del rubro mediante acuicultura con el 97% de la producción de algas, destacándose China con un 57%, seguida de Indonesia con un 27%, (FAO 2020).

El crecimiento en la producción de algas a nivel mundial corresponde principalmente a siete géneros, dos de algas pardas (*Laminaria* y *Undaria*) y cinco de algas rojas (*Kappaphycus*, *Euclidean*, *Gracilaria*, *Porphyra* y *Pyropia*). Las algas *Laminaria saccharina* (Kelp), *Undaria* spp. (Wakame) y *Porphyra* spp. (Nori), son consumidas con frecuencia en Asia oriental, mientras que *Kappaphycus*, *Euclidean* y *Gracilaria* se utilizan principalmente para producir carragenina y agar (McHUGH 2002).

En el 2002 se extraían 55.000 toneladas (peso seco) de algas marinas con las que se producían 7.500 toneladas de agar por un valor de 132 millones de dólares estadounidenses. Chile, España y Japón aportaban el 60 % del agar producido mundialmente. El desarrollo de nuevas aplicaciones es lento y la tasa de crecimiento anual de la industria del agar se estima en uno o dos por ciento, semejante a los últimos treinta años (McHUGH 2002).

ORTIZ-SOTOMAYOR & ALMODOVAR (1982), estimulados por la calidad de los geles de *Gracilaria*, realizaron estudios sobre su biología y ecología, encontrando una disminución considerable de la producción de los bancos naturales, debido posiblemente a los altos niveles de explotación a los que han estado sometidos. Esto ha traído como consecuencia efectos negativos en la ecología del medio, por lo cual se han intensificado en estas últimas décadas, los estudios para determinar los requisitos biológicos y ecológicos necesarios para crear sistemas de cultivo que garanticen la sostenibilidad, manteniendo las praderas silvestres de macroalgas en buen estado (CASTAÑEDA *et al.* 2018; ARBAIZA *et al.* 2019; BARZALLO 2022).

Las propiedades gelificantes que poseen los ficocoloides derivados de las algas rojas y pardas tienen una gran variedad de usos (FUNDACIÓN CHINQUIHUE 2018; BARZALLO 2022). Entre

los principales ficocoloides se encuentran los alginatos, las carrageninas y el agar, estos geles muestran diversas aplicaciones en biomedicina y las industrias alimenticia, farmacéutica y textil, debido principalmente a cuatro de sus propiedades: la capacidad de retención de agua, el aumento en la viscosidad de la solución en la que se disuelven (actuando como espesantes), la facultad de formar geles a partir de reacciones químicas de intercambio iónico (formando enlaces entre cadenas adyacentes del polímero), y la sinergia del ácido alginico con metales como el sodio o el calcio para formar películas de alginato (YABUR-PACHECO 2005; JIMÉNEZ 2020).

De los tres tipos de ficocoloides, el agar tiene una importancia relevante a nivel industrial debido a las características de sus geles. Su estructura química es una mezcla de polisacáridos, integrados básicamente por la agarosa y la agarpectina. El componente principal es la agarosa, que es a su vez un polímero neutro, responsable de las propiedades gelificantes del agar, y la agarpectina, polímero sulfatado que constituye el componente viscoso (DAWES 1987; REYNA 1991; KOSEGARTEN 2018).

El agar se obtiene principalmente de ciertos géneros de Rhodophyta tales como *Gracilaria*, *Gelidium* y *Pterocladia*, resultando *Gracilaria* la segunda especie en importancia en cuanto a la calidad y producción industrial de agar (BRITO & LEMUS 1996; JIMÉNEZ 2020). Debido a sus propiedades gelificantes, el agar tiene un extenso campo de aplicaciones en las áreas farmacéutica, médica, agrícola, bioquímica, genética, cosmética y alimenticia (MCHUGH 2003).

En el ámbito alimenticio el agar es ampliamente utilizado para la producción y conservación de alimentos procesados, como aditivo en productos bajos en calorías y como agente texturizante. También se han encontrado propiedades bioactivas y funcionales que incluyen la disminución de la concentración de la glucosa en la sangre, un efecto antiagregante en los hematíes, la absorción de rayos UV y actividad antioxidante, además se utiliza como medio de cultivo para bacterias y otros microorganismos (ORTIZ-SOTOMAYOR & ALMODOVAR 1982; MCHUGH 2003; KOSEGARTEN 2018).

Dentro de las Gracilariaceae existe otro género que presenta características muy similares a *Gracilaria*, éste fue propuesto por DAWSON (1949) como *Gracilariopsis* y separado de *Gracilaria* por la ausencia de filamentos nutritivos en el cistocarpo, además de la presencia de células parenquimatosas del gonimoblasto de menor talla.

En las costas venezolanas, existe un representante de *Gracilariopsis*, el cual fue primeramente identificado como *Gracilaria tenuifrons*, debido a la presencia de espermatangios superficiales, el tamaño de los tetrasporangios y algunos aspectos de su morfología. Luego se le identificó como *Gracilariopsis tenuifrons* por parte de FREDERICQ & HOMMERSAND (1989a, b).

En Venezuela, se vienen realizando investigaciones con *G. tenuifrons* desde hace algunos años, con el fin de establecer cultivos que permitan incrementar la biomasa silvestre existente (LEMUS 1992b) y obtener así materia prima en cantidades industrializables. Esta especie ha sido encontrada en algunas localidades de la península de Araya, formando bandas irregulares a lo largo de la costa, sin llegar a integrar verdaderos bancos, creciendo en aguas someras, preferiblemente en la zona intermareal (LEMUS 1992a; BELLORÍN 1995).

La información existente sobre *G. tenuifrons* está referida generalmente a su taxonomía y son escasos los trabajos relacionados con su aprovechamiento como recurso, pudiendo citarse los trabajos de LEMUS & APONTE (1987), LEMUS & APONTE (1989), RINCONES *et al.* (1993) y BELLORÍN (1995). Esta especie se presenta como una buena alternativa para el desarrollo de cultivos masivos en el estado Sucre y en Venezuela.

APONTE & LEMUS (1989) y BRITO & LEMUS (1998), encontraron que el agar extraído de *G. tenuifrons* utilizando tratamiento alcalino, presenta buena resistencia, pero su rendimiento es bajo, ocurriendo lo contrario cuando se realiza extracción por medio del método directo o sin tratamiento alcalino, en donde se obtiene buen rendimiento y la resistencia del agar disminuye.

YOUNG *et al.* (1971), HOYLE (1978) y BRITO & LEMUS (*op. cit.*) sugieren que las modificaciones en el contenido del agar resultan probablemente de variaciones en la cantidad de nutrientes disponibles, en especial el nitrógeno.

BIRD *et al.* (1981) citan que el incremento de nutrientes aumenta el crecimiento, el contenido interno de nitrógeno y la fuerza del gel, pero disminuye el rendimiento en la extracción del agar de *G. tikvahiae*. De igual manera, DE BOER (1981) indica que la disponibilidad de nutrientes es uno de los mayores factores que regulan el crecimiento, reproducción y bioquímica de las algas.

De acuerdo con lo antes expuesto, es necesario conocer los aspectos ecológicos básicos que puedan influir en un aumento de la producción natural del agar y mejorar la fuerza de su gel, así como en la tasa de crecimiento del alga, permitiendo hacer una mejor selección de las áreas de cultivo, de tal manera que repercuta positivamente en los parámetros señalados, para un mejor aprovechamiento del recurso.

En función de lo planteado, este trabajo tiene como objetivo establecer si el rendimiento, la fuerza y punto de fusión del gel, y la tasa de crecimiento de *G. tenuifrons*, varían con concentraciones diferentes de amonio factibles de encontrarse en la localidad de La Peña (estado Sucre).

Con los resultados obtenidos se espera incrementar el conocimiento que se tiene sobre esta especie en la zona, donde representa una alternativa para contribuir al mejoramiento socio económico del estado Sucre.

METODOLOGIA

Área de Estudio

El material de estudio se colectó en la península de Araya, en la localidad de La Peña (costa norte del estado Sucre, Venezuela) a los 10°37' 22" Lat. N y 64° 7' 30" Long. W, donde se encuentran poblaciones silvestres de *G. tenuifrons*, en sustratos areno-fangosos de la zona intermareal y hasta unos 50 cm de profundidad, formando franjas estrechas. Las algas fueron recolectadas manualmente y transportadas en cavas con abundante agua de mar y aireación hasta la estación Hidrobiológica de Turpialito del Instituto Oceanográfico de Venezuela (Golfo de Cariaco, estado Sucre), donde se colocaron en tanques para su aclimatación.

Procedimiento experimental

Se utilizaron 3 tanques de asbesto de 1000 litros c/u (Fig. 1), con agua de mar filtrada y abundante aireación suministrada por un aireador de ½ HP, con difusores de fondo. Los tanques se ubicaron en un espacio abierto bajo condiciones naturales de temperatura, iluminación y fotoperíodo. Las algas se introdujeron en los tanques en porciones de 450 gramos atadas a cuerdas, sostenidas por medio de flotadores cerca de la superficie del agua. El sistema de suministro de agua de mar se realizó por flujo continuo. Durante tres semanas en intervalos de 48 horas, se agregó amoniaco al 30% diluido hasta obtener concentraciones de 4 y 8 $\mu\text{mol.L}^{-1}$, los cuales fueron incorporados a los tanques previamente identificados con la correspondiente concentración, el valor medio de 2 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ya estaba presente en el agua de mar utilizada. Al momento de enriquecer el medio se detenía el flujo del agua de mar de los tanques con concentraciones de 4 y 8 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ durante 24h, para permitir una mejor absorción del amonio de parte de las algas.



Fig. 1. Metodología utilizada para la extracción de agar sin tratamiento alcalino, propuesta por KIM (1970).

Determinación de la tasa de crecimiento

Se pesaron semanalmente las muestras tomadas de las cuerdas del cultivo, antes de proceder a secarlas al sol, para esto se utilizó una balanza analítica digital AND modelo EK- 1200 A con capacidad para 1200 g y 0,1 g de apreciación, con los valores obtenidos se determinó la tasa de crecimiento diaria por medio de la fórmula descrita por DE BOER *et al.* (1978) en LEMUS & APONTE (1987).

Extracción del agar

Se efectuaron extracciones semanales de agar, utilizando el método descrito por KIM (1970). Para las extracciones, se tomaron 150 g de algas por tanque, que fueron lavadas e inmediatamente secadas al sol, procediendo luego a molerlas por medio de un molino manual, para obtener la harina de algas.

Determinación del rendimiento

El agar obtenido, se secó en estufa a 60°C, hasta conseguir un peso constante para calcular el rendimiento según la fórmula empleada por VELÁSQUEZ *et al.* (1988).

Determinación de la fuerza de gel

Después del secado previo, se preparó una solución de agar al 1,5% peso/volumen a 95°C, se vertió en envases de vidrio rectangulares de 5x7x6 cm, se dejaron gelificar durante 24 horas a temperatura ambiente, procediendo a medir la fuerza del gel con un gelómetro Nikkansui modificado. Se tomó la temperatura y el tiempo de ruptura del agar para aplicar la fórmula señalada por KIM (1970).

Determinación del punto de fusión y gelificación

Se determinó la temperatura de fusión y de gelificación de acuerdo con la metodología propuesta por WHYTE & ENGLAR (1980).

Análisis estadístico

Se calculó la existencia o no de diferencias significativas entre los resultados obtenidos y las concentraciones de amonio en el medio, mediante un análisis de varianza doble con réplica descrito por SOKAL & ROHLF (1981) y prueba *a posteriori* de Duncan (STEEL & TORRIE 1985).

RESULTADOS

Tasa de crecimiento diario (%)

Al determinar el porcentaje de crecimiento diario de *G. tenuifrons* sometida a diferentes concentraciones de amonio, se obtuvieron valores promedios que oscilaron entre -0,42 y 2,05% determinando que no existen diferencias significativas entre la tasa de crecimiento en relación a las concentraciones de amonio ($F_s=1,90$; $p > 0,05$), sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas entre la tasa de crecimiento y las semanas de muestreo, las cuales oscilaron entre -1,94 y 1,31% ($F_s = 8,49$; $p < 0,01$); observándose el menor crecimiento durante la tercera semana

(-1,94), y el mayor crecimiento a lo largo de la primera semana de experimentación, con un promedio de 3,62% (TABLAS 1 y 2; Fig. 2).

Rendimiento

Los valores promedios porcentuales obtenidos para la extracción de agar variaron entre 24,00 y 26,45% ($F_s = 0,30$; $p > 0,05$), donde se determinó que no se presentaron diferencias significativas entre el rendimiento del agar en relación con las concentraciones de amonio, como tampoco existieron diferencias significativas entre el rendimiento y las semanas de muestreo ($F_s = 0,49$; $p > 0,05$), cuyos valores oscilaron entre 24,34 y 27,39% (TABLAS 3 y 4; Fig. 3).

Fuerza del gel

Los resultados obtenidos en la determinación de la fuerza del gel no mostraron diferencias significativas en relación con las concentraciones de amonio, las cuales oscilaron entre 257,03 y 319,87 g/cm² ($F_s = 0,48$; $p > 0,05$), ni tampoco para las semanas de muestreo ($F_s = 2,46$; $p > 0,05$), cuyos valores oscilaron entre 231,46 y 374,12 g/cm² (TABLAS 5 y 6; Fig. 4).

TABLA 1. Resumen estadístico de la tasa de crecimiento diaria (%) de *G. tenuifrons* según la semana de muestreo (N: tamaño de la muestra; X: promedio; S: desviación estándar; D: Duncan).

| Semana | N | Intervalo | X | S | Duncan |
|--------|---|----------------|----------|---------|----------|
| 1 | 6 | -9,9840 0,9310 | -1,94267 | 4,07923 | 3,62517 |
| 2 | 6 | 0,5710 3,3180 | 1,66650 | 1,03811 | 1,66650 |
| 3 | 6 | 1,4480 5,4710 | 3,62517 | 1,31164 | -1,94267 |

TABLA 2. Resumen estadístico de la tasa de crecimiento diario (%) de *G. tenuifrons*, en relación con las tres concentraciones de amonio (µmol. L⁻¹) utilizadas (N: tamaño de la muestra; X: promedio; S: desviación estándar).

| Concentración | N | Intervalo | X | S |
|---------------|---|------------------|----------|---------|
| 2 | 6 | -9,9840 - 5,4710 | -0,41550 | 5,18195 |
| 4 | 6 | -1,7400 - 4,0450 | 1,66650 | 2,44686 |
| 8 | 6 | 0,7330 - 3,4010 | 2,04550 | 1,20669 |

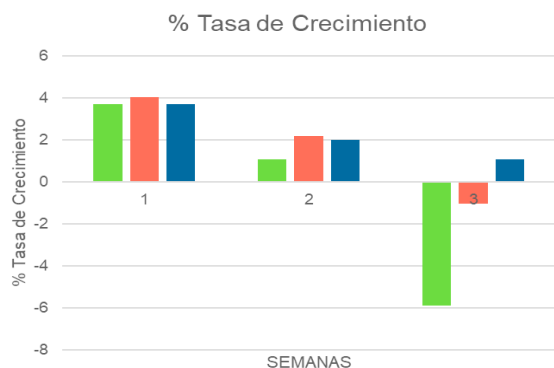


Fig. 2. Porcentaje del promedio del crecimiento diario de *G. tenuifrons* sometida a tres concentraciones de amonio (µmol.L⁻¹).

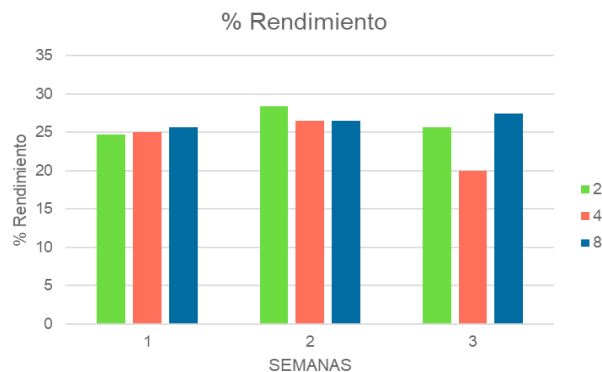


Fig. 3. Porcentaje de rendimiento del agar de *G. tenuifrons* sometida a tres concentraciones de amonio (µmol.L⁻¹).

Punto de fusión

Los valores promedios obtenidos en la determinación de este parámetro muestran que no se encontraron diferencias significativas entre los puntos de fusión (81,67 y 86,67 °C) en relación con las concentraciones de amonio ($F_s = 0,58$; $p > 0,05$), ni tampoco en relación con las semanas de muestreo ($F_s = 0,16$; $p > 0,05$), cuyos valores fluctuaron entre 82 y 84,50 °C (TABLAS 7 y 8; Fig.5).

Punto de gelificación

Los resultados de la determinación del punto de gelificación de los agares oscilaron entre 35 y 37°C, arrojando que no existen diferencias significativas entre el punto de gelificación con relación a la concentración utilizada del nutriente ($F_s = 0,76$; $p > 0,05$). En cuanto al punto de gelificación y las semanas de muestreo los resultados promedios variaron entre 35,33 y 37,16°C ($F_s=1,07$; $p >0,05$), con lo cual se determinó que no existió interacción significativa entre estos parámetros (TABLAS 9 y 10; Fig. 6).

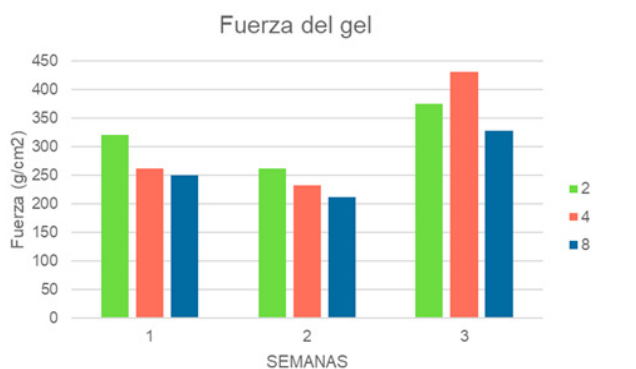


Fig. 4. Fuerza del gel (g/cm²) de *G. tenuifrons* sometida a tres concentraciones de amonio (µmol.L⁻¹).

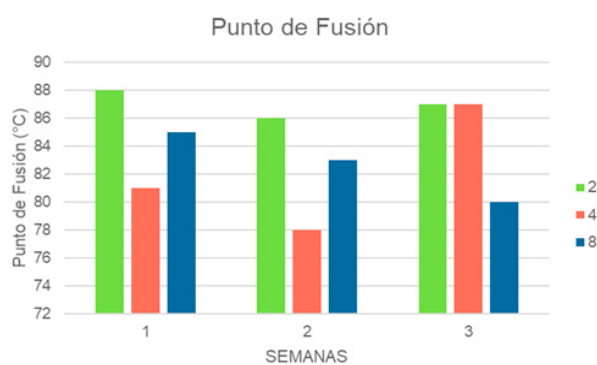


Fig. 5. Punto de fusión (°C) del gel de *G. tenuifrons* sometida a tres concentraciones de amonio (µmol.L⁻¹).

TABLA 3. Resumen estadístico del rendimiento del agar (%) de *G. tenuifrons* según la semana de muestreo (N: tamaño de la muestra; X: promedio; S: desviación estándar).

| Semana | N | Intervalo | X | S |
|--------|---|-------------------|---------|---------|
| 1 | 6 | 19,9270 - 30,2790 | 24,7215 | 1,31164 |
| 2 | 6 | 24,0740 - 33,2790 | 27,3898 | 1,03811 |
| 3 | 6 | 14,3610 - 32,1670 | 24,3412 | 4,07923 |

TABLA 4. Resumen estadístico del rendimiento del agar (%) de *G. tenuifrons* según las tres concentraciones de amonio (µmol. L⁻¹) utilizadas (N: tamaño de la muestra; X: promedio; S: desviación estándar).

| Concentración | N | Intervalo | X | S |
|---------------|---|-------------------|---------|---------|
| 2 | 6 | 19,0840 - 33,2790 | 25,9535 | 5,89350 |
| 4 | 6 | 14,3610 - 30,2790 | 24,0025 | 5,97112 |
| 8 | 6 | 23,7260 - 30,8110 | 26,4965 | 2,69645 |

TABLA 5. Resumen estadístico de la fuerza del gel (g/cm^2) de *G. tenuifrons* según la semana de muestreo (N: tamaño de la muestra; X: promedio; S: desviación estándar).

| Semana | N | Intervalo | X | S |
|--------|---|-------------------|---------|---------|
| 1 | 6 | 193.586 - 395.911 | 274.442 | 75.5473 |
| 2 | 6 | 134.679 - 317.614 | 231.450 | 69.4165 |
| 3 | 6 | 193.240 - 572.943 | 374.115 | 130.049 |

TABLA 6. Resumen estadístico de la fuerza del gel de *G. tenuifrons* (g/cm^2), según las concentraciones ($\mu\text{mol. L}^{-1}$) de amonio (N: tamaño de la muestra; X: promedio; S: desviación estándar).

| Concentración | N | Intervalo | X | S |
|---------------|---|-------------------|---------|---------|
| 2 | 6 | 193,240 - 572,943 | 319,864 | 141,437 |
| 4 | 6 | 134,679 - 446,349 | 303,110 | 118706 |
| 8 | 6 | 160,758 - 331,392 | 257,032 | 60,4723 |

TABLA 7. Resumen estadístico del punto de fusión del gel ($^{\circ}\text{C}$) de *G. tenuifrons*, según la semana de muestreo (N: tamaño de la muestra; X: promedio; S: desviación estándar).

| Semana | N | Intervalo | X | S |
|--------|---|-----------|---------|---------|
| 1 | 6 | 72 - 94 | 84,5000 | 9,20326 |
| 2 | 6 | 75 - 87 | 82,0000 | 4,81664 |
| 3 | 6 | 70 - 91 | 84,3333 | 7,71146 |

TABLA 8. Resumen estadístico del punto de fusión del gel ($^{\circ}\text{C}$) de *G. tenuifrons*, según las concentraciones ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) de amonio (N: tamaño de la muestra; X: promedio; S: desviación estándar).

| Concentración | N | Intervalo | X | S |
|---------------|---|-----------|---------|---------|
| 2 | 6 | 84 - 92 | 86,6667 | 2,94392 |
| 4 | 6 | 72 - 91 | 81,6667 | 7,71146 |
| 8 | 6 | 70 - 94 | 82,5000 | 9,31128 |

TABLA 9. Resumen estadístico del punto de gelificación del gel ($^{\circ}\text{C}$) de *G. tenuifrons* (N: tamaño de la muestra; X: promedio; S: desviación estándar).

| Semana | N | Intervalo | X | S |
|--------|---|-----------|---------|---------|
| 1 | 6 | 33 - 37 | 35,3333 | 1,96638 |
| 2 | 6 | 34 - 38 | 35,6667 | 1,50555 |
| 3 | 6 | 34 - 41 | 37,1667 | 2,48323 |

TABLA 10. Resumen estadístico del punto de gelificación del gel ($^{\circ}\text{C}$) de *G. tenuifrons*, según las concentraciones ($\mu\text{mol. L}^{-1}$) de amonio (N: tamaño de la muestra; X: promedio; S: desviación estándar).

| Concentración | N | Intervalo | X | S |
|---------------|---|-----------|---------|---------|
| 2 | 6 | 35 - 39 | 37,0000 | 1,41421 |
| 4 | 6 | 33 - 41 | 35,6667 | 2,94392 |
| 8 | 6 | 33 - 37 | 35,5000 | 1,51658 |

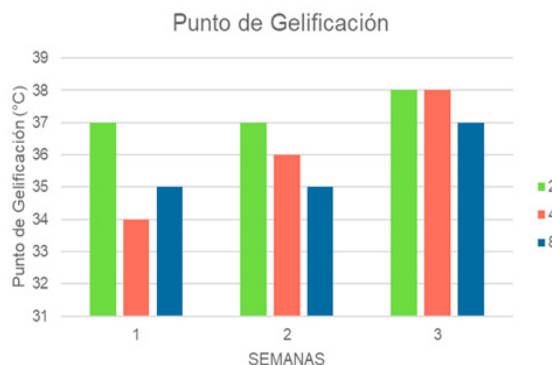


Fig. 6. Punto de gelificación ($^{\circ}\text{C}$) del gel de *G. tenuifrons* sometida a tres concentraciones de amonio ($\mu\text{mol.L}^{-1}$).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la determinación de la tasa de crecimiento diario de *G. tenuifrons* coinciden con los publicados por LEMUS (1992b) en Venezuela, a pesar de que los ensayos de este autor se realizaron en mar abierto, señalando las más altas tasas de crecimiento para las dos primeras semanas de cultivo, apreciando una pérdida de porciones apicales del talo en las semanas subsiguientes, indicando que dicha pérdida puede ser producto de la dinámica de la masa de agua. El mayor crecimiento se logró durante la primera semana de experimentación, con un promedio de 3,62%, valor similar al reportado por CARA (2015) para la especie *G. bursa-pastoris* en primavera (3,67%), en la bahía de Cádiz, España.

Similar a los datos reportados por CARA (2015), en el presente trabajo, las diferencias significativas observadas para la tasa de crecimiento diario, en relación con la primera semana, pueden deberse a la utilización de las sustancias de reserva que el alga acumuló durante su permanencia en el medio natural. Luego, la maduración de estructuras reproductivas y el estímulo producido por el cambio de condiciones ambientales van a inducir la liberación de esporas, las cuales al ser expulsadas ocasionan la fragilidad en aquellas porciones del talo donde mayormente proliferan como lo son las áreas apicales, así se produjeron rupturas en los filamentos generando pérdida de biomasa a partir de las semanas siguientes. Este proceso se pudo constatar por la presencia de porciones de filamentos, la fijación y germinación de esporas de esta especie en el fondo de los tanques.

El hecho de que no se encontraran diferencias significativas en la relación entre el crecimiento y las concentraciones de amonio utilizadas, permite inferir que las variaciones de este nutriente a lo largo del año en los sitios potencialmente aptos para el cultivo de *G. tenuifrons*, no afectan de manera negativa la tasa de crecimiento del alga, tal como lo señala KOSEGARTEN (2018) para *G. parvispora* de Puerto San Carlos (México), donde no se encontraron diferencias significativas entre la tasa de crecimiento del alga y la presencia de fertilizantes.

El rendimiento obtenido en la producción del agar, en las tres concentraciones de amonio, así como a lo largo de las semanas del estudio, muestran valores ligeramente superiores en relación con los valores obtenidos por BRITO & LEMUS (1998) quienes realizando extracción con tratamiento directo en *G. tenuifrons*, provenientes de bancos naturales de la localidad de La Peña, encontraron una variación de 20 - 23 %, siendo rangos menores que los citados en esta investigación. Esto puede deberse a que los citados autores muestrearon durante todo un año y en este trabajo sólo en dos oportunidades, representando ese trabajo la media más exacta del comportamiento del rendimiento del agar anual de la especie.

De igual forma, difieren de los valores obtenidos por BIRD *et al.* (1981), en trabajos realizados con *G. tikvahiae* a diferentes concentraciones de nitrógeno, donde presentan una relación inversa entre el contenido de nitrógeno en el talo y el rendimiento del gel, posiblemente debido a que cada especie responde de manera particular de acuerdo a su comportamiento fisiológico, como lo señalan BIRD *et al.* (*op cit.*) y BRITO & LEMUS (1998). Además, al comparar el porcentaje de rendimiento con estudios realizados al agar producido por *G. vermiculophylla* en la Laguna San

Ignacio (B.C.S., México) por VERGARA (2009), se puede notar que el valor de rendimiento máximo fue de 17%, un valor menor al obtenido en el presente trabajo, mientras que para el agar extraído de *G. fortissima* del Parque Nacional Cahuita (Limón, Costa Rica), SÁNCHEZ & CORELLA (2008) reporta un valor de rendimiento máximo (24,66%) similar al obtenido en esta investigación.

En cuanto a la fuerza del gel, se precisó que tampoco existen diferencias significativas, en relación a las semanas ni a las concentraciones de amonio empleadas, pero sin embargo se aprecian valores medios más elevados que los reportados por BRITO & LEMUS (1998). Estos resultados pudiesen estar relacionados con las concentraciones de amonio utilizadas en la presente experiencia, corroborando lo descrito por BIRD *et al.* (1981) al encontrar una relación directa entre la concentración de nutrientes en el talo de *G. tikuahiae* y la fuerza del gel, mejorando las características comerciales.

También podría explicarse por la necesidad del alga de producir sustancias de reserva, para contrarrestar el estrés a que son sometidas durante el período de experimentación, pudiendo reflejarse en la constitución de moléculas de polisacáridos de mayor tamaño, con altos niveles de 3,6 anhidro galactosa y bajos niveles de sulfato, proporcionándole una mayor fuerza al gel obtenido, tal como lo han descrito REES (1972) y YAPHE & DUCKWORTH (1972). El valor máximo obtenido fue de 319,87 g/cm², muy similar al máximo reportado por SÁNCHEZ & CORELLA (2008) para el agar extraído de *G. fortissima*.

Los puntos de fusión y gelificación no presentaron diferencias significativas, situación que también reporta KOSEGARTEN (2018) para el agar obtenido de *G. parvispora*, encontrándose valores superiores a los obtenidos en la presente investigación (Pf máx = 86,67 °C y Pg máx = 37 °C), sin embargo, se encontraron valores muy cercanos a los reportados por BIRD & HINSON (1992) para los geles de interés comercial, como el Difco Bacto-Agar, el cual reportó valores de 88,0 y 35,5°C para el punto de fusión y de gelificación, respectivamente.

Por todo lo antes expuesto se demostró que, las variaciones en las concentraciones de amonio presentes en zonas con potencial para establecer cultivos de *G. tenuifrons*, no afectan de forma significativa la tasa de crecimiento diario, el rendimiento, la fuerza, ni el punto de fusión y gelificación del agar de esta especie.

CONCLUSIONES

1. Durante la primera semana de la experiencia se obtuvieron las mayores tasas de crecimiento del alga en cultivo en las tres concentraciones de amonio utilizadas.
2. Las concentraciones de amonio empleadas no afectaron de manera significativa la tasa de crecimiento, ni características como rendimiento, fuerza, punto de fusión y gelificación del agar obtenido por extracción directa en *G. tenuifrons*.
3. Con la especie *G. tenuifrons* se pueden establecer cultivos en las zonas aptas para ello, tomando como referencia rangos en las concentraciones de armonio similares a los empleados en este estudio, sin que se vea afectada la producción y las características geológicas del agar obtenido.

RECOMENDACIONES

Se hace necesario continuar con los estudios referentes a mejorar la fuerza del agar de *G. tenuifrons* utilizando otras fuentes de nutrientes, así como también la posible aplicación de concentraciones más elevadas de amonio durante periodos cortos.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Andrés José Lemus Castro, padre, maestro, asesor y guía, gracias por todo su apoyo, sin su abnegada dedicación no se hubiese desarrollado este estudio, te recordaremos siempre.

REFERENCIAS

- APONTE, M. & A. LEMUS. 1989. *Comparative study of agar obtained from three species of Gracilaria feasibles for culture in Venezuela*. En: *Workshop on Cultivation of Seaweed in Latin America*. Oliveira, E. & N. Kautsky (Eds.). Univ. S./Paulo/Int. Foundation for Science, S. Sebastiao, SP Brazil. pp.117-119.
- ARBAIZA, S., P. GIL-KODAKA, N. ARAKAKI & K. ALVEAL. 2019. Primeros estadios de cultivo a partir de carpósporas de *Chondracanthus chamissoi* de tres localidades de la costa peruana. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 54(2):204-213. <https://dx.doi.org/doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.2.1901>
- BARZALLO, F. 2022. *Cultivo de la macroalga Gracilaria fortissima para la extracción del agar*. Trab. Grad. Lic. Ingeniería Acuícola, Universidad Técnica de Machala, Ecuador. 25 pp.
- BELLORÍN, R. A. 1995. *Efecto de la temperatura y la intensidad de luz en el crecimiento del alga Gracilariopsis tenuifrons (Bird & Oliveira) Fredericq & Hommersand*. Trab. Grad. Lic. Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 71 pp.
- BIRD, K. & K. HINSON. 1992. Seasonal variation in agar yield and quality from North Carolina agarophytes. *Bot. Mar.* 35(4):291-295.
- BIRD, K., M. HANISAK & J. RYTHER. 1981. Chemical quality and production of agars extracted from *Gracilaria tikvahiae* grown in different nitrogen enrichment conditions. *Bot. Mar.* 24:441-444.
- BRITO, L. & A. LEMUS. 1996. Rendimiento y consistencia del agar de *Gracilaria damaecornis*. J. Agardh (Gracilariales, Rhodophyta). *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 35(1-2):57-62.
- BRITO, L. & A. LEMUS. 1998. Variación anual en el rendimiento y fuerza del gel de *Gracilariopsis tenuifrons* (Bird & Oliveira) Fredericq & Hommersand de la Península de Araya, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 37(1-2):75-80.
- CARA, C. 2015. *Cultivo de algas mediante sistema de cuerdas en la bahía de Cádiz*. Trab. Grad. Lic. Biología. Puerto Real, España. 41 pp.

- CASTAÑEDA, M., S. ARBAIZA, F. DIAZ, Y. CASTILLO, P. BALTAZAR & O. ADVÍNCULA. 2018. Evaluación del fotoperiodo en el asentamiento de tetraesporas de *Chondracanthus chamissoi* sobre cuerdas de polipropileno en condiciones semi-controladas de laboratorio. *Cien. Agríc. Biol.* 79(2):459-465. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.1256>
- DAWES, C. 1987. *Biology of commercially important tropical marine algae*. En: *Seaweed Cultivation and Marine Ranching*. Critchley A.T. & M. Ohno (Eds.), JICA. pp. 89-112.
- DAWSON, E.Y. 1949. Studies of the Northeast Pacific Gracilariceae. *Occas. Papers Allan Hancock Foundation* 7:1-105.
- DE BOER, J.A. 1981. *Nutrients*. En: *The Biology of seaweeds*. Lobban C.S. & M.J. Wynne (Eds.). Blackwell Scientific Publ. London. pp. 356-392.
- FAO. 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma. 243 pp. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- FREDERICQ, S. & M. HOMMERSAND. 1989a. Proposal of the Gracilariales ord. nov. (Rhodophyta) based on an analysis of the reproductive development of *Gracilaria verrucosa*. *J. Phycol.* 25:213-227.
- FREDERICQ, S. & M. HOMMERSAND. 1989b. Comparative morphology and taxonomic status of *Gracilariopsis* (Gracilariales, Rhodophyta). *J. Phycol.* 25:228-241.
- FUNDACIÓN CHINQUIHUE. 2018. Manual para la elaboración de agar-agar orgánico a partir del pelillo. Fundación Chiquihue, 20 pp. Disponible en: <http://www.fundacionchiquihue.cl/wp-content/uploads/2020/06/Manual-para-elaboración-de-agar-agar-Fundación-Chiquihue-20191.pdf> (Revisada febrero 2023).
- HOYLE, M. 1978. Reproductive phenology and growth rate in two species of *Gracilaria* from Hawaii. *J. Exp. Mar. Biol.* 35:273-283.
- JENSSEN, A. 1993. Present and future needs for algae and algal products. *Hydrobiologia* 260/261:15-23.
- JIMÉNEZ, L. 2020. *Aprovechamiento del alga marina Sargassum spp. mediante digestión anaerobia y tratamiento en medio ácido*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias de Físicoquímica, CINVESTAD Mérida, Yucatán, México. 58 pp.
- KIM, D.H. 1970. Economically important seaweeds, in Chile-I. *Gracilaria*. *Bot. Mar.* 13:140-162.
- KOSEGARTEN, P. 2018. *Efecto de la temperatura y nutrientes en la composición química y biomasa de Gracilaria parvispora (Rhodophyta, Gracilariaceae)*. Trab. Grad. Ciencias Marinas y Costeras. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. 81 pp.
- LEMUS, A. 1992a. *Macroalgas*. En: *Fichas FAO de identificación de especies para los fines de la pesca*. Roma. pp. 17-28.

- LEMUS, A. 1992b. Ensayos de cultivo de la agarofita *Gracilariopsis tenuifrons* (Bird & Oliveira) Fredericq & Hommersand (Rhodophyta) en el oriente de Venezuela. Memorias de VII Simposio Latinoamericano de Acuicultura -II Encuentro Venezolano sobre Acuicultura. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto, Venezuela. pp. 140-148.
- LEMUS, A. & M. APONTE. 1987. Estudios de biomasa y regeneración en algunos bancos naturales de agarofitas en el oriente de Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 26: 27-34.
- LEMUS, A. & M. APONTE. 1989. Situación actual y perspectivas para el cultivo del género *Gracilaria* Grev. (Rhodophyta) en las costas orientales de Venezuela. III Congreso Venezolano sobre Ciencias del Mar. Cumaná, estado Sucre. Resumen. pp. 35-45.
- McHUGH, D. 2002. *Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo*. FAO Circular de Pesca No. 968, Roma. 30 pp.
- McHUGH, D. 2003. *A guide to the seaweed industry*. FAO Fisheries Technical Paper 441, Roma. 105 pp.
- ORTIZ-SOTOMAYOR, A. & L. ALMODOVAR. 1982. El género *Gracilaria* (Gigartinales: Rhodophycophyta) y su posible potencial como agarofita a escala industrial. *Carib. J. Sci.* 18(1-4):49-57.
- ØVERLAND, M., L. MYDLAND & A. SKREDE. 2019. Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. *J. Sci. Food Agric.* 99(1):13-24. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9143>
- REES, D.A. 1972. Shapely polysaccharides. *Biochem. J.* 126(2):257-273. <https://doi: 10.1042/bj1260257>
- REYNA, J. 1991. *Composición química y propiedades reológicas de agares de tres especies de algas del género Gracilaria (G. verrucosa prox., G. domingensis y G. cervicornis) colectadas en la Península de Araya, estado Sucre*. Trab. Grad. Lic. Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 147 pp.
- RINCONES, R., S. YU & M. PEDERSEN. 1993. Effects of dark treatment on the starch degradation and the agar quality of cultivated *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta, Gracilariales) from Venezuela. *Hidrobiologia* 260/261:633-640.
- SÁNCHEZ, M. & R. CORELLA. 2008. Extracción, identificación y prueba microbiológica del agar extraído de *Gracilaria fortissima* Dawson (Rhodophyta, Gigartinales, Gracilariaceae). *Uniciencia* 22(1-2):99-106.
- STEEL, R. & J. TORRIE. 1985. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. 2da Edición. Mc Graw-Hill Interamericana, México. 622 pp.
- SOKAL, R. & F. ROHLF. 1981. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. Freeman, W.H. (Ed.), San Francisco, California. 859 pp.

- VELÁSQUEZ, E., E. GANESAN & J. BONILLA. 1988. Field and laboratory studies in the agarophyte *Pterocladia capillacea* (S.G. Gmelin) Burnet & Thuret (Gelidiaceae, Rhodophyta) from Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 27(1-2):3-24.
- VERGARA, M. 2009. *Evaluación de biomasa y extracción de agar del alga roja Gracilaria vermiculophylla (Gracilariales, Rhodophyta) de La Laguna San Ignacio, B.C.S., México.* Trab. Grad. M. Sc. Manejo de Recursos Marinos, Instituto Politécnico Nacional. CICIMAR-IPN, La Paz, B.C.S., México. 65 pp.
- WHYTE, N. & J. ENGLAR. 1980. Chemical composition and quality of agars in morphotypes of *Gracilaria* from British Columbia. *Bot. Mar.* 23:277-283.
- YABUR-PACHECO, R. 2005. *Producción y propiedades de alginato de Sargassum sinicola (Setchell & Gardner) y su aplicación en inmovilización celular.* Trab. Grad. Ph. D. Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur, México. 83 pp.
- YAPHE, W. & M. DUCKWORTH. 1972. The relationship between structures and biological properties of agars. Tokyo Press University. *Proc. Int. Seaweed Symp.* 7:15-22.
- YOUNG, K, M. DUCKWORTH & W. YAPHE. 1971. The structure of agar: Part III. Piruvic acid, a common feature of agars from different agarophytes. *Carbohydr. Res.* 16(2):446-448. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)81179-9](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)81179-9)

RECIBIDO: Abril 2023

ACEPTADO: Julio 2023