



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGIAS

CARRERA DE BIOLOGÍA

TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Tema

Caracterización de pigmentos fotosintéticos de *Caulerpa racemosa* y evaluación para determinar la productividad y posible aplicación industrial.

Autor

Marín vera Kelly Ayeleen

Palma Alcivar Jannelly Michelle

Periodo 2025 - 2

DECLARACION DE AUTORIA

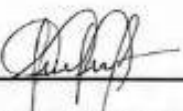
Nosotras, **MARIN VERA KELLY AYELEEN Y PALMA ALCIVAR JANNELLY MICHELLE** declaramos que hemos contribuido a la realización del trabajo de titulación bajo la modalidad de Artículo Académico previo a la obtención del título de Biólogo, con tema:

CARACTERIZACIÓN DE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS DE *CAULERPA RACEMOSA* Y EVALUACIÓN PARA DETERMINAR LA PRODUCTIVIDAD Y POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL.

Hemos revisado la versión final del manuscrito y aprobamos su presentación para su publicación. También garantizamos que este trabajo es original, no ha sido publicado previamente y no está bajo consideración para su publicación en otro lugar.

Además, declaramos que no tenemos conflictos de interés en relación con este trabajo.

Firmas:



MARIN VERA KELLY AYELEEN
CI: 1315004646

PALMA ALCIVAR JANNELLY MICHELLE
CI: 1315780310

Manta, Manabí, Ecuador

Lunes, 08 de junio del 2026

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de *la Vida y Tecnologías* de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de investigación de la estudiante **Marin Vera Kelly Ayeleen** legalmente matriculada en la carrera de Biología período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, bajo la opción de titulación de proyecto de investigación, cuyo tema del proyecto es **"Caracterización de pigmentos fotosintéticos de Caulerpa Racemosa y evaluación para determinar la productividad y posible aplicación industrial"**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 2 de febrero del 2026

Lo certifico,



Blgo. Dario Olivo del Valle Calderon
Docente Tutor

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN:
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de *la Vida y Tecnologías* de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de investigación de la estudiante **Palma Alcivar Jannelly Michelle** legalmente matriculada en la carrera de Biología período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, bajo la opción de titulación de proyecto de investigación, cuyo tema del proyecto es **"Caracterización de pigmentos fotosintéticos de Caulerpa Racemosa y evaluación para determinar la productividad y posible aplicación industrial"**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 2 de febrero del 2026

Lo certifico,



Blgo. Dario Olivio del Valle Calderon
Docente Tutor

AGRADECIMIENTOS

Los autores responsables de que este trabajo se haya llevado a cabo expresan un sincero agradecimiento principalmente a Dios, de igual manera se agradece a la identidad universitaria Laica Eloy Alfaro de Manabí, a la facultad de Ciencias de la Vida y Tecnología junto a la carrera de biología y a docentes profesionales por brindarnos su orientación científica y apoyo necesario para el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo académico, en primer lugar, a Dios, por permitirnos llegar hasta este momento tan importante de nuestras vidas, brindando salud, fortaleza y sabiduría para superar cada desafío presentado durante nuestra formación.

A nuestros padres, por su amor incondicional, apoyo constante, sacrificio y confianza depositada. Gracias por ser ejemplo de esfuerzo y perseverancia, y por impulsarnos siempre a alcanzar nuestras metas.

A nuestras familias y seres queridos, quienes nos acompañaron en este camino con palabras de aliento, comprensión y motivación en los momentos más difíciles.

Finalmente, dedico este logro a todas aquellas personas que contribuyeron de una u otra manera a nuestro crecimiento personal y profesional. Este trabajo es el resultado del esfuerzo, dedicación y compromiso asumido para alcanzar uno de los objetivos más importantes de nuestras vidas.

Caracterización de pigmentos fotosintéticos de *Caulerpa racemosa* y evaluación para determinar la productividad y posible aplicación industrial.

Palma Alcivar Jannelly, Marín Vera Kelly, Del Valle Calderón Darío

Carrera de Biología, Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías,
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Correo institucional:

e1315004646@live.ulead.edu.ec

e1315780310@live.ulead.edu.ec

Resumen

Los ecosistemas costeros albergan numerosas macroalgas marinas, fundamentales para la productividad primaria y con alto potencial de aplicación industrial. El estudio se realizó en la zona intermareal rocosa de Punta Blanca, Manabí, Ecuador, mediante muestreos semanales durante bajamar, obteniéndose 84 muestras de *Caulerpa racemosa*. Los pigmentos fotosintéticos fueron extraídos y analizados mediante cromatografía en papel de tipo cualitativa, identificando clorofila a, clorofila b y xantofilas. El análisis estadístico incluyó pruebas de ANOVA, normalidad y homogeneidad, evidenciando diferencias significativas ($p < 0,05$) y predominio de clorofila b (53,8%), seguida por xantofilas (23,4%) y clorofila a (22,8%). Este patrón confirma predominio clorofílico y elevada eficiencia fotosintética, además de resaltar compuestos antioxidantes que respaldan su potencial biotecnológico para generar insumos destinados a industrias cosmética, farmacéutica y alimentaria, promoviendo el aprovechamiento sostenible de recursos algales en ecosistemas costeros tropicales, con beneficios económicos regionales y futuras aplicaciones productivas sostenibles para comunidades locales ecuatorianas, fortaleciendo la investigación científica marina nacional y cooperación tecnológica regional futura.

Palabras claves: *Caulerpa racemosa*, Pigmentos fotosintéticos, ecosistemas costeros, macroalgas, producción

Characterization of photosynthetic pigments of *Caulerpa racemosa* and evaluation to determine productivity and potential industrial application

ABSTRACT

Coastal ecosystems harbor numerous marine macroalgae that are fundamental to primary productivity and have high potential for industrial applications. This study was conducted in the rocky intertidal zone of Punta Blanca, Manabí, Ecuador, through weekly sampling during low tide, obtaining 84 samples of *Caulerpa racemosa*. Photosynthetic pigments were extracted and analyzed using qualitative paper chromatography, identifying chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, and xanthophylls. Statistical analysis included ANOVA, normality, and homogeneity tests, revealing significant differences ($p < 0.05$) and a predominance of chlorophyll *b* (53.8%), followed by xanthophylls (23.4%) and chlorophyll *a* (22.8%). This pattern confirms chlorophyll dominance and high photosynthetic efficiency, as well as highlighting antioxidant compounds that support its biotechnological potential for generating inputs for the cosmetic, pharmaceutical, and food industries. This promotes the sustainable use of algal resources in tropical coastal ecosystems, with regional economic benefits and future sustainable productive applications for local Ecuadorian communities, strengthening national marine scientific research and future regional technological cooperation.

Keywords: *Caulerpa racemosa*, photosynthetic pigments, coastal ecosystems, macroalgae, production.

1. INTRODUCCIÓN

La zona intermareal rocosa de la costa ecuatoriana se caracteriza por la variabilidad ambiental asociada a los ciclos de marea, la exposición al oleaje, la temperatura y salinidad, además de su relevancia ecológica desempeña un papel importante como barrera natural que contribuye a la erosión costera (Martínez et al., 2022.). Es el punto entre los ecosistemas terrestres y marinos ya que se pueden encontrar una gran biodiversidad, como algas, crustáceos, moluscos, entre otros organismos que viven allí y son capaces de adaptarse a cambios extremos en las condiciones ambientales (Araújo et al., 2024). Estos factores influyen directamente en la distribución, biomasa y productividad de las comunidades algales bentónicas, las macroalgas son fundamentales ya que no solo contribuyen de manera significativa a la productividad primaria local, sino que también tienen un rol importante a los ecosistemas marinos ya que proporcionan hábitat, refugio y alimento para una amplia diversidad de invertebrados y peces costeros (González et al., 2017). La estructura y productividad de estas comunidades están sujetas a cambios espacio-temporales asociados a eventos climáticos como El Niño-Oscilación del Sur, que modifican las condiciones oceanográficas y pueden alterar los patrones de zonación y dominancia algal en el ambiente intermareal (Pennington et al., 2006).

Las macroalgas marinas son organismos de gran importancia en los ambientes costeros, los cuales han evidenciado un notable potencial para su aprovechamiento como alimento o como fuente de ingredientes con valor nutricional. En la costa ecuatoriana, estos organismos se presentan en cantidades relativamente abundantes (D'Armas et al., 2019). Las algas se clasifican en tres tipos: *Chlorophyta* (algas verdes), *Rhodophyta* (algas rojas) y *Phaeophyceae* (algas pardas), en función de factores como el tipo de pigmento, composición de la pared celular, tipos de flagelos compuestos de almacenamiento (Cadar et al 2019). Las algas verdes, pertenecientes al phylum *Chlorophyta*, poseen clorofila a y b junto con carotenoides, tienen talos sencillos, sifonados, hemisifonados, parenquimatosos sencillos y filamentosos y se encuentran principalmente en zonas intermareales (Acosta-Calderón et al., 2016). Estos pigmentos no solo participan activamente en la captación de energía luminosa para la fotosíntesis, sino que también cumplen funciones fotoprotectoras y antioxidantes frente al estrés lumínico y oxidativo especialmente relevante en ambientes intermareales sometidos a la radiación durante la bajamar (Raven et al., 2013; Croce & van Amerongen, 2020).

La especie *Caulerpa racemosa*, presenta una amplia distribución en ecosistemas costeros tropicales y ha despertado un creciente interés científico por su alto contenido de clorofilas y carotenoides, así como por su

potencial antioxidante. (Álvarez et al., 2016; Paul et al., 2013). Esta caracterización de pigmentos fotosintéticos constituye una herramienta fundamental para evaluar el estado fisiológico y la productividad de las macroalgas marinas han mostrado potencial para aplicaciones cosméticas naturales debido a su estabilidad relativa y efectos benéficos en la piel (Ding et al., 2024; Chen Z., Wu W., Wen et al 2022).

Métodos analíticos como la espectrofotometría y la cromatografía permiten identificar y cuantificar clorofilas y carotenoides, aportando información clave sobre la eficiencia fotosintética y el potencial biológico de estas especies (Lichtenthaler & Buschmann, 2001). En este sentido, el análisis detallado de los pigmentos presentes en *C. racemosa* no solo contribuye a la comprensión de su ecología y productividad, sino que también permite identificar compuestos de interés para su aprovechamiento industrial.

Las macroalgas marinas se han asentado como una fuente relevante de compuestos bioactivos con aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. Su diversidad de metabolitos secundarios y pigmentos fotosintéticos presentes en estas especies le confiere propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y protectoras frente al daño celular, impulsando su uso como ingredientes funcionales en productos para el cuidado de la piel (Pereira, 2016). En particular, los carotenoides derivados de algas verdes han demostrado estabilidad química, baja toxicidad y eficacia como antioxidantes y colorantes naturales, lo que los convierte en alternativas sostenibles frente a aditivos sintéticos (Ding et al., 2024).

Debido al potencial que poseen las algas marinas son importantes ya que poseen una fuente de compuestos potencialmente activos como (proteínas-lectinas, ficobiliproteínas, péptidos, aminoácidos, polifenoles y polisacáridos) los cuales son utilizados en beneficios para la salud humana (Brown et al, 2014).

En el ámbito cosmético, los extractos de algas marinas se emplean cada vez con mayor frecuencia en formulación de jabones, cremas y geles, debido a su capacidad para proteger contra el estrés oxidativo, mejorar la hidratación cutánea y aportar compuestos naturales que sustituyen aditivos sintéticos (Jesumani et al., 2019). Estudios recientes indican que los pigmentos de algas no solo actúan como antioxidantes, sino también como colorantes naturales estables y seguros para productos dermatológicos (Pagels et al., 2022; Chen et al., 2023).

Los estudios realizados en Ecuador no solo confirman la alta diversidad biológica de las zonas intermareales rocosas y las macroalgas que las habitan, sino que también proveen bases científicas para posibles programas de monitoreo ecológico, gestión ambiental y conservación

costera. Esto es especialmente relevante dado que estos ambientes están sometidos a presiones antropogénicas como la recolección extractiva, el turismo y los cambios ambientales asociados al cambio climático (Cárdenas et al 2020). A pesar de estos avances, no hay muchas investigaciones aplicadas en Ecuador respecto a la caracterización detallada de los pigmentos de *Caulerpa racemosa* y su incorporación en productos cosméticos artesanales.

Por tanto, este estudio propone caracterizar los pigmentos fotosintéticos presentes en *C. racemosa* y su funcionalidad antioxidante, contribuyendo así al desarrollo de productos cosméticos naturales basados en recursos naturales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Area de estudio

Se realizó esta investigación en la zona costera intermareal de Punta Blanca ubicada en el Cantón Jaramijó, provincia de Manabí ($0^{\circ}55'46''$ S $80^{\circ}39'57''$ O), el ambiente presenta un clima tropical, con temperaturas del aire que van entre los 24 a 29 °C (Ecostravel, 2020), mientras que la temperatura del agua en la zona está entre 23 y 27 °C (INOCAR, 2025). (Ilustración 1)

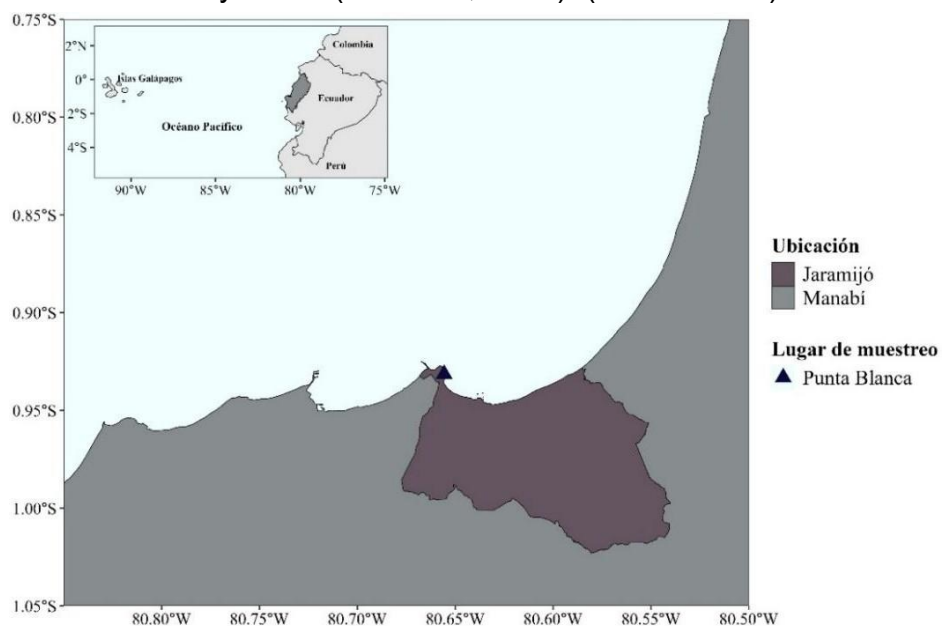


Ilustración 1 Mapa de la zona de muestreo

Fase de campo

Se visitó la zona intermareal de Punta blanca debido a la abundancia de la macroalga *C. Racemosa* el cual el muestreo se realizó en un periodo de tres meses, empezando la tercera semana de septiembre hasta la segunda semana de diciembre del 2025 las jornadas de recolección se llevaron a cabo una vez por semana entre miércoles a viernes obteniendo un muestreo

total, de 84 extracciones de *Caulerpa racemosa*, en horarios de mañana y tarde, coincidiendo con la marea baja en cual los rangos de marea oscilaron entre los 0.10m a 1.04m (INOCAR, 2025).

Fecha	Marea	Tiempo	Altura
18-09-2025	Marea baja	07:00	1 m
25-09-2025	Marea baja	12:30	0.3 m
8-10-2025	Marea baja	07:00	0.9 m
17-10-2025	Marea baja	11:14	0.2 m
24-10-2025	Marea baja	6:50	0,8 m
29-10-2025	Marea baja	11:28	0,3 m
6-11-2025	Marea baja	14:00	1,03m
14-11-2025	Marea baja	10:00	0,1m
20-11-2025	Marea baja	6:00	0,5 m
26-11-2025	Marea baja	9:50	0,6 m
4-12-2025	Marea baja	13:40	0,3 m
11-12-2025	Marea baja	9:00	0,4 m

Tabla 1 Horario de Bajamar durante los muestreos

Cada jornada se realizó dependiendo la hora de la bajamar para asegurar la exposición de sustratos rocosos y facilitar la identificación de la especie, se muestreo en un transepto perpendicular a la costa , usando el método de transepto y cuadratas (Miloslavich & Carbonini, 2010), utilizando un flexómetro con una distancia de 25 mts entre la orilla a las pozas intermareales utilizando cuadrantes (1mx1m) muestreando 7 cuadrantes; la recolección in situ se realizó mediante extracción manual (SARCE, 2019) (Ilustración 2)

Las muestras fueron almacenadas en frascos debidamente rotulados con la siguiente información: sitio de muestreo, fecha de recolección y preservada en agua de mar hasta llevarla al laboratorio

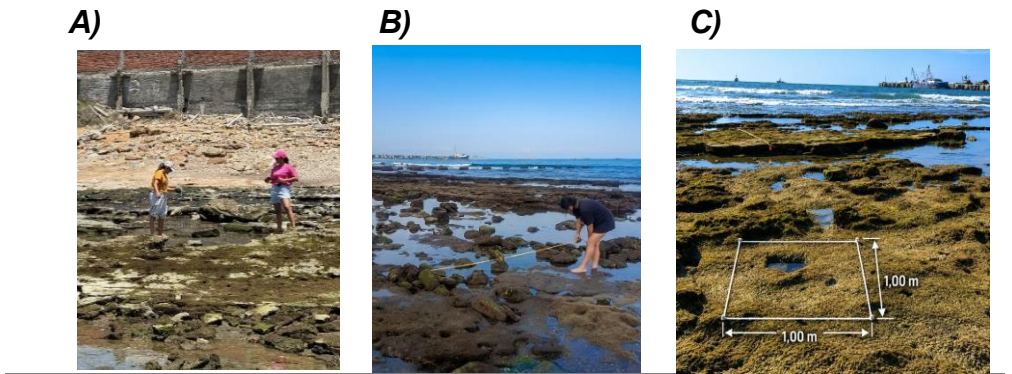


Ilustración 2 A) Recolección de muestras B) Medición en zona intermareal

C) Representación de transeptos

Fase de laboratorio

Una vez realizada la recolección de la muestra, los talos de *Caulerpa racemosa* se dejan secar parcialmente con el fin de reducir la humedad y estandarizar las condiciones de la muestra para su posterior análisis. Posteriormente, se pesan 5 g de la muestra utilizando una balanza analítica y se transfieren a un mortero. A continuación, se adicionan 10 mL de alcohol absoluto como solvente de extracción, junto con arena de mar previamente lavada y secada, la cual facilita la ruptura del tejido algal. La mezcla se tritura cuidadosamente con un pistilo hasta obtener una maceración homogénea.

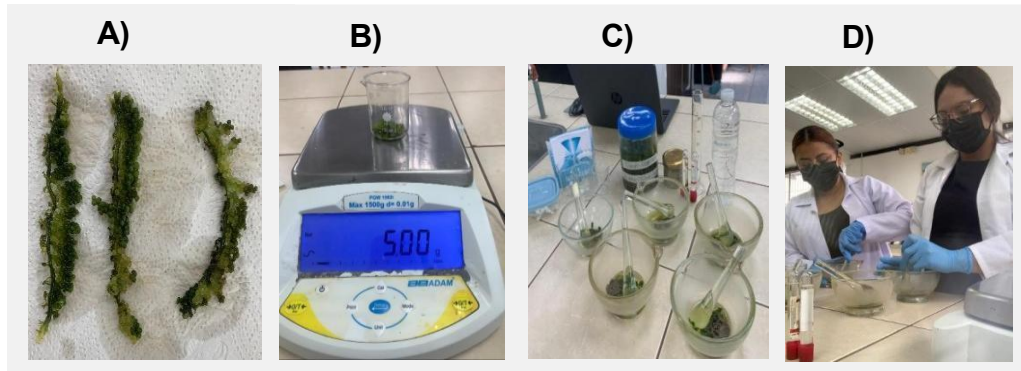


Ilustración 3 A) *Caulerpa racemosa* B) Balanza Analítica C) Distribución de Muestras y Materiales D) Preparación de la Muestra

El extracto resultante se traslada a un vaso de precipitación, utilizando papel filtro de 11 cm, logrando de esta manera separar el extracto líquido del material sólido residual. Finalmente, se introduce tiras de papel cromatográfico con medidas de 1x8 cm en el extracto obtenido para evaluar la pigmentación presente en el alga.

Las bandas de pigmentos separadas se miden con una regla calibrada para determinar la distribución y proporción de los pigmentos.

Es de gran importancia señalar que la metodología que se ha aplicado es basada cromatografía en papel, las cuales presentan limitaciones inherentes que no permiten una identificación ni cuantificación precisa de los pigmentos. No obstante, esta técnica resulta adecuada para una caracterización cualitativa y comparativa de la composición pigmentaria, lo que resalta la pertinencia de su uso dentro de los objetivos del estudio.

En este sentido, el análisis cromatográfico de los pigmentos fotosintéticos constituye una herramienta fundamental para caracterizar la población algal, ya que la presencia y proporción relativa de clorofila *a* se asocia con la biomasa y la productividad (Sousa, 2005). Estas consideraciones metodológicas deberán ser retomadas y justificadas en la sección de discusión, destacando la relevancia del enfoque empleado.

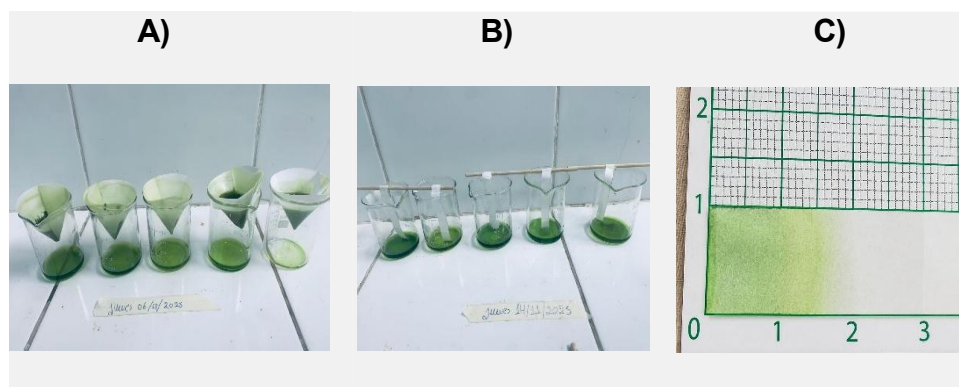


Ilustración 4 A) Filtración De Muestras Procesadas B) Proceso De Pigmentación C) Resultado

Fase de análisis de datos

Mediante los registros que se obtuvieron en los muestreos realizados, tenemos una base de 84 datos que equivalen al tiempo de estudio. Se realizó prueba de homogeneidad de varianza, mientras que la distribución normal del muestreo se determinó por la prueba de Shapiro Wilk (Royston 1982), con niveles de significación de $P < 0.05$.

Los datos fueron evaluados al 100 % de las muestras obtenidas, presentaron varianzas homogéneas y distribuciones normales, además en el desarrollo de la investigación también se utilizó la prueba (ANOVA) análisis de varianza, (Rasmussen, 1996; Norell, 2003).

La identificación de los pigmentos se realizó mediante la determinación del factor de retención (R_f), una magnitud adimensional que describe la movilidad de los compuestos en relación con el solvente.

La fórmula utilizada fue:

$R_f = (\text{Distancia recorrida por el compuesto}) / (\text{Distancia recorrida por el solvente})$

Se midió la distancia desde la línea de siembra hasta el centro de cada banda de pigmento y la distancia total recorrida por el frente del solvente. Los valores de R_f permitieron la identificación cualitativa de los pigmentos presentes en *Caulerpa racemosa*.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos correspondientes a los niveles de pigmentación fotosintéticos identificados en *Caulerpa racemosa* mediante el Anova Test para saber si existen diferencias significativas en el porcentaje de pigmentación, en este caso se observa análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias significativas entre los niveles de los pigmentos

fotosintéticos ($p < 0,05$), mostrando un predominio estadísticamente significativo de la clorofila b frente a la clorofila a y las xantofilas. En este resultado se observa que la clorofila b fue el pigmento predominante con un 53,8, presentando el mayor porcentaje relativo en comparación con los demás pigmentos, en segundo lugar, se observó la clorofila a con 22,8, mientras que las xantofilas mostraron una contribución porcentual de 23,4 el patrón indica que la composición pigmentaria de *C. racemosa* está dominada principalmente por pigmentos clorofílicos, lo cual es característico de las algas verdes. (Ilustración 5)

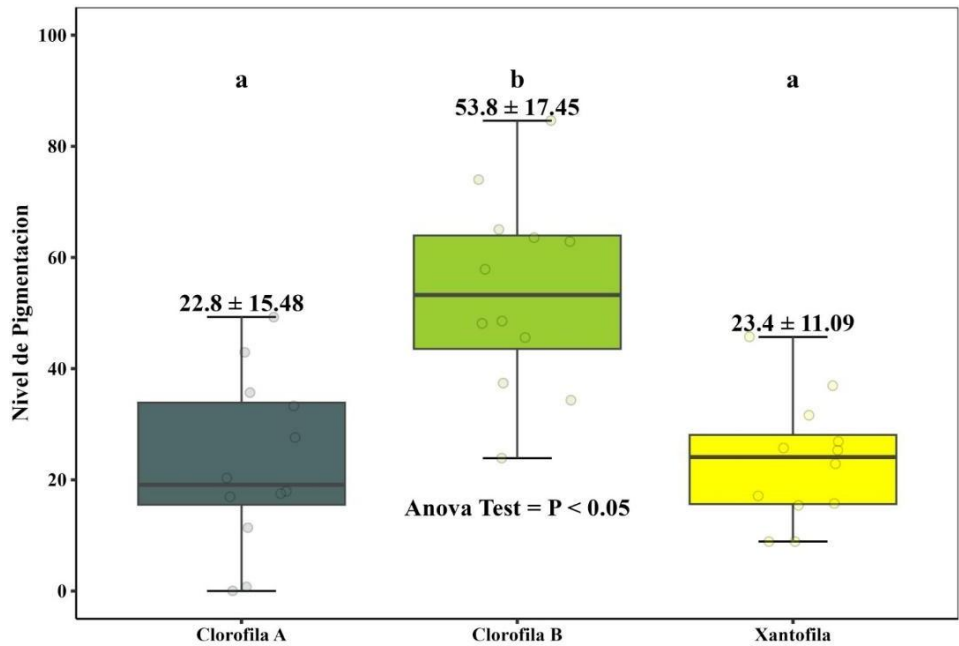


Ilustración 5 Anova Test

Los resultados del análisis estadístico descriptivo evidencian diferencias en la concentración de los pigmentos fotosintéticos evaluados en *C. racemosa*.

E. D	MEDIA	SD	MIN	MAX
Clorofila A	19,1	15,48	0	49,3
Clorofila B	53,25	17,45	23,9	84,6
Xantofila	24,1	11,09	8,9	45,7

Tabla 2 Estadística descriptiva

El gráfico de barras apiladas muestra la composición porcentual de los pigmentos fotosintéticos presentes en *Caulerpa racemosa* para cada punto de muestreo (P1–P12), diferenciando entre clorofila a, clorofila b y xantofilas. Cada barra representa el 100 % de pigmentación total por muestra, distribuido proporcionalmente entre los tres tipos de pigmentos.

En todos los puntos de muestreo se observa un predominio de la clorofila b, la cual constituye el mayor porcentaje relativo en la mayoría de las muestras (por ejemplo, P3, P4, P5, P6, P11 y P12), lo que indica que este pigmento es el principal componente del sistema fotosintético de la especie. La clorofila a se presenta como el segundo pigmento en proporción en varios puntos (especialmente en P7, P8 y P10), mientras que las xantofilas muestran una participación menor pero constante en todas las muestras.

Se destaca una variabilidad espacial en la proporción de pigmentos entre los distintos puntos de muestreo. Por ejemplo:

- En P3 y P4 la clorofila b alcanza valores cercanos al 75–85 %, mostrando un dominio claro.
- En P7 se observa un incremento de la clorofila a, superando el 45 %, lo que sugiere variaciones en la disponibilidad de luz o condiciones ambientales.
- En P9 se registra uno de los valores más altos de xantofilas (≈ 45 %), lo cual podría estar asociado a mecanismos de protección frente a estrés lumínico o condiciones ambientales adversas.

Es importante precisar que las xantofilas corresponden a un tipo de carotenoide oxigenado, es decir, forman parte del grupo de los carotenoides y cumplen funciones fundamentales en la dispersión de energía y defensa contra el estrés oxidativo dentro del aparato fotosintético.

En conjunto, el patrón observado en el gráfico confirma que *Caulerpa racemosa* presenta una estructura pigmentaria dominada por clorofila b, con variaciones en la proporción de clorofila a y xantofilas dependiendo del punto de muestreo. (ilustración 6)

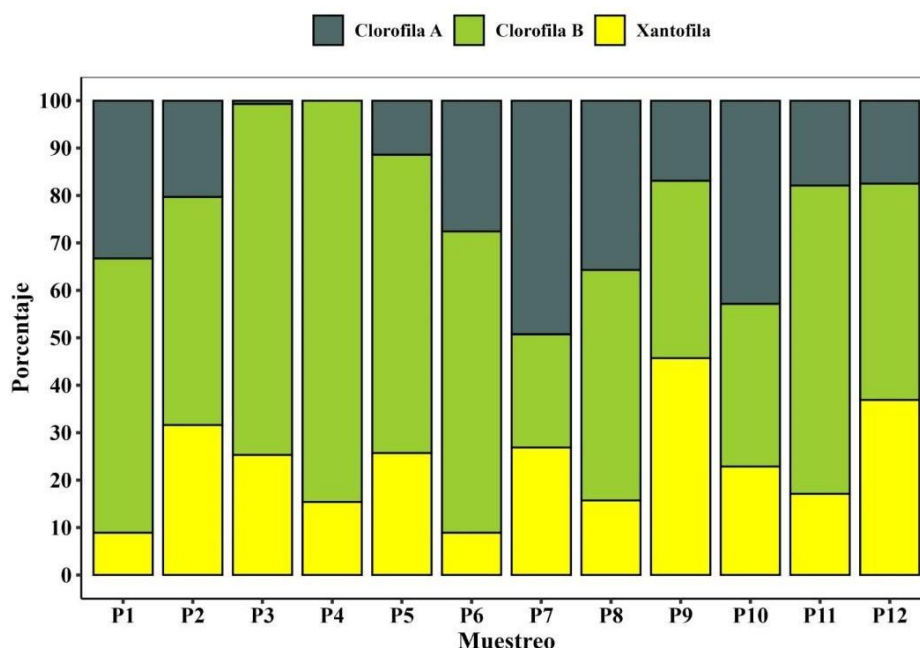


Ilustración 6 Representación porcentual de pigmentos encontrados en *C. Racemosa*

4. DISCUSIÓN

Mediante este estudio se determinó que *Caulerpa racemosa* presenta una estructura pigmentaria dominada por clorofilas, con un predominio de clorofila b, lo cual sugiere una adaptación eficiente a condiciones de iluminación variables propias de la zona intermareal. La clorofila b amplía el espectro de absorción de la luz y permite optimizar la captación de energía en longitudes de onda donde la clorofila a es menos eficiente, favoreciendo así el crecimiento y la producción de biomasa en condiciones de luz subóptima. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado para las algas verdes (Chlorophyta), las cuales utilizan clorofila b como pigmento secundario, a diferencia de las algas rojas que emplean ficobiliproteínas (Jeffrey, Mantoura & Wright, 1997; Raven et al., 2013).

Este patrón es característico de las algas verdes (Chlorophyta), en este estudio coincide con lo reportado por Álvarez et al. (2016), quienes encontraron una mayor proporción de clorofila b en especies del género *Caulerpa*. Esta concordancia respalda que la organización pigmentaria de *C. racemosa* responde al modelo típico de las algas verdes y refleja una estructura fotosintética funcional, consistente con su fisiología y su adaptación a ambientes tropicales.

La ausencia de ficoeritrina es coherente con la clasificación taxonómica de *Caulerpa racemosa* como alga verde (*Chlorophyta*), ya que este pigmento es característico de algas rojas y cianobacterias (Raven et al., 2013; Pereira, 2023). Asimismo, la baja o nula detección de caroteno puede atribuirse a concentraciones inferiores al límite de detección del método empleado o a

una escasa acumulación relativa frente a las clorofilas predominantes (Giuliani 2016; Álvarez et al., 2016).

El análisis del gráfico de barras evidenció el predominio general de la clorofila b; sin embargo, en el punto de muestreo P7 se registró una mayor proporción de clorofila a. Esta variación puede estar asociada a diferencias locales en la disponibilidad y calidad de la luz, influenciadas por factores como la profundidad, la turbidez y la dinámica del agua. En este contexto, la energía absorbida por la clorofila b puede transferirse a la clorofila a, optimizando la eficiencia fotosintética global del organismo (Raven et al., 2017). Este resultado sugiere que la composición pigmentaria de *C. racemosa* presenta cierta plasticidad fisiológica frente a cambios ambientales.

Estos hallazgos contribuyen al conocimiento de su productividad fotosintética y respaldan su interés como recurso natural para futuras investigaciones orientadas a aplicaciones industriales ya que los pigmentos se usan ampliamente en la industria y generalmente se dividen en pigmentos naturales y pigmentos sintéticos. (Zhengxin et al 2023).

Debido a que poseen propiedades antioxidantes, desodorizantes, cicatrizantes y fotoprotectoras, hay muchos productos cosméticos a base de algas disponibles comercialmente, como Voya Get Glowing Illuminating Clay Mask (*Himanthalia elongata*), OSEA Ocean Cleansing Mudd (*Fucus vesiculosus*), Repêchage Vita Cura B3 Serum Complex (*Laminaria digitata*). Otros productos, como aceite True Botanicals Clear Pure Radiance Oil, cremas hidratantes y varios productos ocupan un lugar destacado en el mercado cosmético (Kalasariya et al, 2021).

Es por esto que, debido a su contribución a la neutralización de especies reactivas de oxígeno, a la protección frente al estrés ambiental y al mantenimiento de la salud cutánea, la *C. racemosa* se usa comercialmente por su baja toxicidad, biodegradabilidad y aceptación por parte del consumidor, lo que responde a la creciente demanda de productos sostenibles de origen marino, se perfila como una fuente potencialmente viable y renovable de pigmentos clorofílicos para el desarrollo de productos con valor agregado, fortaleciendo su interés para aplicaciones industriales. Es importante señalar que la metodología empleada basada en cromatografía en papel, presenta limitaciones inherentes que no permiten una identificación ni cuantificación precisa de los pigmentos. No obstante, esta técnica resulta adecuada para una caracterización cualitativa y comparativa de la composición pigmentaria, lo que resalta la pertinencia de su uso dentro de los objetivos del estudio. En este sentido, el análisis cromatográfico de los pigmentos fotosintéticos constituye una herramienta fundamental para caracterizar la población algal, ya que la presencia y proporción relativa de clorofila a se asocia con la biomasa y la productividad (Sousa, 2005).

5. CONCLUSIÓN

Caulerpa racemosa evidencio una composición pigmentaria dominada por clorofila a, clorofila b y xantofilas, compuestos esenciales para la eficiencia fotosintética y con alto potencial de aprovechamiento industrial, ya que las clorofilas poseen propiedades antioxidantes, desintoxicantes, antiinflamatorias y fotoprotectoras, por lo que se emplean en la elaboración de colorantes naturales, suplementos nutricionales, productos dermatológicos y cosméticos destinados a la protección y regeneración de la piel, mientras que las xantofilas contribuyen a la protección celular frente al estrés oxidativo y se utilizan como ingredientes funcionales en alimentos y productos de cuidado personal.

En Ecuador, la disponibilidad de macroalgas en las zonas costeras ofrece una oportunidad para la realización de futuras investigaciones orientados en el aprovechamiento de los compuestos fotosintéticos de estos organismos, permitiendo obtener resultados que constituyan una base inicial para estudios que evalúen de manera específica su posible aplicación en la industria, promoviendo el uso sostenible de los recursos algales y el desarrollo de iniciativas productivas en comunidades costeras.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Calderón, J., Mateo-Cid, L., & Mendoza-González, Á. (2016). An updated list of marine green algae (Chlorophyta, Ulvophyceae) from the Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Quintana Roo, Mexico. *Check List*, 12(3).
- Álvarez-Gómez, Félix, Korbee, Nathalie, & Figueroa, Félix L. (2016). Análisis de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos en extractos macroalgales y liquénicos mediante la aplicación de diferentes solventes y métodos de evaluación. *Ciencias marinas*, 42(4), 271-288.
- Araujo-Leyva, O., Solórzano, J. L., Sáenz, M. A. M., Mejía, S. R., González-Rojas, A., & Sandoval, L. T. D. (2024). La vida en la zona intermareal: adaptaciones en un ecosistema cambiante. *Biología y Sociedad*, 7(13), 48-62.
- Brown, E.; Allsopp, PJ; Magee, P.; Gill, CIR; Nitecki, S.; Strain, CR; McSorley, (2014) EM Algas marinas y salud humana. *Nutr.*
- Cadar, E.; Cherim, M. (2019). Estudios sobre las características fisicoquímicas del ecosistema de algas marinas del Mar Negro rumano. *J. Sci. Arts* 2018, 3, 717–726.
- Cárdenas-Calle, M., Mora, E., Torres, G., Pérez-Correa, J., Bigatti, G., Signorelli, J. H., & coronel, J. (2020). *Marine invertebrate and seaweed biodiversity of continental coastal Ecuador*. *Biodiversity Data Journal*, 8, e53818. <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e53818>
- Chen, Z., Wu, W., Wen, Y., Zhang, L., Wu, Y., Farid, M. S., El-Seedi, H. R., & Capanoglu, E. (2023). Recent advances of natural pigments from algae. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5, 39. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00155-y>
- Croce, R., & van Amerongen, H. (2020). Light harvesting in oxygenic photosynthesis: Structural biology meets spectroscopy. *Science (New York, N.Y.)*, 369(6506), eaay2058. <https://doi.org/10.1126/science.aay2058>
- D'Armas, H., Jaramillo, C., D'Armas, M., Echavarría, A., & Valverde, P. (2019). Proximate composition of several macroalgae from the coast of Salinas Bay, Ecuador. *Revista de Biología Tropical*, 67(1), 61-68.
- Ding N, Zhou Y, Dou P, Chang SKC, Feng R, et al. 2024. Abundancia colorida y nutritiva: potencial de la aplicación de pigmentos naturales en productos acuáticos. *Innovación y Avances Alimentarios* 3(3): 232-243 doi: 10.48130/fia-0024-0023

Giuliani, A. (2016). Enciclopedia of Food and Health || Colors: Properties and Determination of Natural Pigments., (), 273–283. doi:10.1016/b978-0-12-384947-2.00189-6

González Etchebehere, L., Kruk, C., Scarabino, F., Laporta, M., Zabaleta, M., González, L., & Vélez-Rubio, G. (2017). Comunidades de macroalgas en puntas rocosas de la costa de Rocha, Uruguay. *INNOTEC*, (14 jul-dic), 17–30.

Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada – INOCAR (2025). Inicio. <https://www.inocar.mil.ec/web/>

Jeffrey, S. W., Mantoura, R. F. C., & Wright, S. W. (1997). Phytoplankton pigments in oceanography. UNESCO Publishing.

Jesumani V, Du H, Aslam M, Pei P, Huang N. (2019) Potential Use of Seaweed Bioactive Compounds in Skincare-A Review. *Mar Drugs* 6;17(12):688. doi: 10.3390/md17120688. PMID: 31817709; PMCID: PMC6950024.

Kalasariya, HS, Yadav, VK, Yadav, KK, Tirth, V., Algahtani, A., Islam, S., Gupta, N. y Jeon, B.-H. (2021). Moléculas de algas y sus posibles actividades biológicas: Una cosmética ecosostenible. *Molecules*, 26 (17), 5313. <https://doi.org/10.3390/molecules26175313>

Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: 4Measurement and characterization by UV–VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*.

Martínez Panizo P C, Rivera F, Peñaherrera J, Rivera F, Jácome I, Chipe V, Bolaños S, Castro I, León E (2022): MONITOREO DE BIODIVERSIDAD DEL INTERMAREAL ROCOSO Reservas Marinas: El Pelado, Bajo Copé y Cantagallo – Machalilla. v1.0. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica - Ecuador

Miloslavich, P., & Carbonini, A. (2010). Manual de Muestreo para Comunidades Costeras. Caracas.

Pagels, F., Almeida, C., Vasconcelos, V., & Guedes, A. C. (2022). Cosmetic potential of pigment extracts from the marine cyanobacterium *Cyanobium* sp. *Marine Drugs*, 20(8), 481. <https://doi.org/10.3390/md20080481>

Paul N, Neveux N., Magnusson M, Nys R. (2013). Producción comparativa y valor nutricional de las “uvas de mar”, las algas verdes tropicales *Caulerpa lentillifera* y *C. racemosa*, *Journal of Applied Phycology*, Vol 26, pag 1833-1844

Pennington, J. T., Mahoney, K. L., Kuwahara, V. S., Kolber, D. D., Calienes, R., & Chavez, F. P. (2006). Primary production in the eastern tropical Pacific:

A review. *Progress in Oceanography*, 69(2–4), 285–317.
<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.012>

Pereira L, Cotas J. (2023) Therapeutic Potential of Polyphenols and Other Micronutrients of Marine Origin. *Mar Drugs*. doi: 10.3390/md21060323. PMID: 37367648; PMCID: PMC10303569.

Pereira, L. (2016). Seaweeds as source of bioactive substances and skin care therapy—Cosmeceuticals, algotherapy, and thalassotherapy. *Cosmetics*, 3(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/cosmetics3010001>

Rasmussen, L. 1996. ANOVA MultiMedia. A Program for Teaching ANOVA Designs. *Teaching of Psychology* 23: 55

Raven, J. A, Beardall J, Sánchez-Baracaldo P (2017), The possible evolution and future of CO₂-concentrating mechanisms, *Journal of Experimental Botany*, Volume 68, Issue, Pages 3701–3716, <https://doi.org/10.1093/jxb/erx110>

Raven, J. A., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2013). *Biology of plants* (8th ed.). W. H. Freeman and Company

Royston, P. 1982. An Extension of Shapiro and Wilk's W Test for Normality to Large Samples. *J. Royal Statistical Soc. Series C. Appl. Statistics* 31:115

SARCE. (2019). Protocolo de muestreo para la evaluación de la diversidad marina en costas rocosas. Sampling protocol for assessment of marine diversity on rocky shores. Ocean best practices.

Sousa, M. B. D. (2005). Extração e quantificação de α -Caroteno, β -Caroteno e α -Tocoferol em macroalgas marinhas utilizando cromatografia líquida de alta eficiência em fase reversa

Zhengxin Chen, Weihao Wu, Yuxi Wen, Lizhu Zhang, Yanglin Wu, Muhammad Salman Farid, Hesham R. El-Seedi, Esra Capanoglu yChao Zhao (2023), Avances recientes en pigmentos naturales de algas. *Food Prod Process and Nutr* 5, 39

