

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE PESQUERÍA



TÍTULO DE LA TESIS

**“TASA DE CRECIMIENTO DE *Macrocystis pyrifera*
(PHAEOPHYCEAE) EN RELACION A ALGUNOS PARAMETROS
AMBIENTALES EN EL SUBMAREAL DE LA ISLA SAN
LORENZO, CALLAO.”**

Presentado por:

FREDDY JESÚS MARCIAL VILA MONTOYA.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO

La Molina, Lima – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERÍA

**“TASA DE CRECIMIENTO DE *Macrocystis pyrifera*
(PHAEOPHYCEAE) EN RELACION A ALGUNOS PARAMETROS
AMBIENTALES EN EL SUBMAREAL DE LA ISLA SAN
LORENZO, CALLAO.”**

Presentado por:

FREDDY JESÚS MARCIAL VILA MONTOYA.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dra. Patricia Liliana Gil Kodaka

Presidente

M. Eng. María Cristina Miglio Toledo

Miembro

M. Sc. Abelardo Ciro Calderón Rodríguez

Miembro

Dr. Jaime Humberto Mendo Aguilar

Asesor

M. Sc. Alex Moisés Gamarra Salazar

Co-Asesor

DEDICATORIA

Dedicado a dios, a mis padres, familiares
Y a todas esas personas que de alguna u otra manera,
Hicieron posible realizar este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a mi asesor, el Dr. Jaime Mendo, por haberme aceptado como su tesista, por su orientación, consejos y amistad brindada durante todo el proceso de la tesis, la cual me ha servido en mi formación profesional y personal. A mi Co-asesor, el M. Sc. Alex Gamarra Salazar, por la confianza y la oportunidad brindada para realizar este trabajo, el cual me permitió conocer el fascinante mundo de las macroalgas.

Asimismo, agradecer la Dra. Patricia Gil y al proyecto: “Diversidad de macroalgas de la costa central del Perú usando código de barras de ADN en la perspectiva de sus usos potenciales y aplicaciones biotecnológicas”, convenio Nro. 129-2015-FONDECYT-DE” y al 7mo concurso de subvención de tesis, ambas de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por haber colaborado en la realización de este trabajo.

Por otro lado agradecer, a la Dra. Carmen Yamashiro de la Dirección General de Investigaciones de Recursos Demersales y Litorales (DGIRDL) del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), a todos los integrantes del Área Funcional de Invertebrados Marinos y Macroalgas (AFIMM), a los Blgos. Patricia Carbajal y Ruslán Pastór, a los técnicos Miguel Sarmiento, Carlos Robles y a José Fiestas los cuales me ayudaron durante la fase de campo de la tesis. Al Dr. Daniel Grados y a la Dra. Ana Alegre, por haberme ayudado con el tratamiento de los datos y sus comentarios.

Finalmente agradecer a mi familia por el soporte brindado durante mi época universitaria y en la ejecución de la tesis, al Ing. José Aldana y al Ing. Raúl Marañón, por haberme brindado las facilidades para corregir la tesis y a mis amigos Aarón Romero, Francisco Córdova y Mercedes Gutiérrez, por haberme ayudado durante toda la ejecución de la tesis.

INDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	i
ÍNDICE GENERAL.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN LITERARIA.....	3
2.1. Distribución y diversidad del género <i>Macrocystis</i>	3
2.2. Aspectos generales de <i>Macrocystis pyrifera</i>	3
2.2.1. Hábitat y distribución.....	4
2.2.2. Taxonomía.....	6
2.2.3. Ciclo de vida.....	6
2.2.4. Crecimiento.....	8
2.2.5. Mortalidad.....	10
2.3. Efectos de los parámetros ambientales sobre el crecimiento.....	11
2.4. Importancia económica de las macroalgas pardas.....	14
2.4.1. Aprovechamiento y Exportaciones.....	14
2.4.2. Extracción y manejo de las macroalgas.....	16
2.4.3. Usos y aplicaciones.....	18
2.5. Importancia Ecológica de <i>Macrocystis</i> en el medio ambiente.....	19
2.6. Oceanografía del Mar Peruano.....	20
2.6.1. Propiedades físicas y químicas del Mar Peruano.....	21
2.6.1.1. Salinidad.....	22
2.6.1.2. Temperatura.....	22
2.6.1.3. Nutrientes.....	23
2.7. Análisis estadístico.....	25
2.7.1. Pruebas Paramétricas.....	25
2.7.2. Pruebas No Paramétricas.....	27
2.7.3. Análisis de Correlación.....	28
2.7.4. Modelo aditivo generalizado (GAM).....	29

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1. Zona de Estudio.....	31
3.2. Metodología en campo.....	32
3.2.1. Información requerida.....	32
3.2.2. Marcaje y monitoreo de esporofitos.....	32
3.2.3. Variables Oceanográficas.....	34
3.3. Análisis y procesamiento de datos.....	34
3.3.1. Número de esporofitos y oleaje.....	34
3.3.2. Parámetros oceanográficos.....	35
3.3.3. Evaluación del crecimiento.....	35
3.3.4. Efecto de los parámetros oceanográficos sobre el crecimiento.....	37
3.3.5. Ecuación teórica de crecimiento.....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	41
4.1. Número de esporofitos marcados y recuperados.....	41
4.2. Variación de los parámetros oceanográficos.....	43
4.2.1. Temperatura.....	43
4.2.2. Salinidad.....	45
4.2.3. Potencial de hidronio.....	47
4.2.4. Fosfatos.....	48
4.2.5. Silicatos.....	49
4.2.6. Nitratos.....	50
4.2.7. Nitritos.....	51
4.3. Evaluación del crecimiento.....	52
4.3.1. Variación mensual del LT y el DMR.....	53
4.3.2. Tasa de crecimiento absoluta.....	55
4.3.2.1. Tasa de crecimiento de la longitud total de la fronda.....	55
4.3.2.2. Tasa de crecimiento del diámetro mayor del rizoide.....	58
4.3.3. Tasa estándar de crecimiento (G).....	61
4.3.3.1. Tasa estándar de crecimiento de la longitud total de la fronda.....	61
4.3.3.2. Tasa estándar de crecimiento del diámetro mayor del rizoide.....	64
4.3.4. Porcentaje diario de elongación.....	66
4.3.4.1. Porcentaje de elongación diario de la longitud total de la fronda.....	66
4.3.4.2. Porcentaje de elongación diario del diámetro mayor del rizoide.....	67
4.4. Efecto de los parámetros oceanográficos sobre el crecimiento.....	68
4.4.1. Análisis de las variables dependientes.....	68
4.4.2. Análisis multivariado.....	69
4.4.2.1. Análisis de correlación.....	69
4.4.2.2. Modelo aditivo generalizado.....	70
4.5. Ecuación teórica de crecimiento.....	80
V. CONCLUSIONES.....	83
VI. RECOMENDACIONES.....	84

VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	85
VIII.	ANEXOS.....	95

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Requerimientos abióticos de <i>Macrocystis pyrifera</i>	11
Tabla 2. Tabla de Análisis de Varianza (ANOVA).....	27
Tabla 3. Número de esporofitos marcados de <i>Macrocystis pyrifera</i> por cada rango de tallas.....	33
Tabla 4. Número de datos de tasas de crecimiento de la longitud total de la fronda (LT) y del diámetro mayor del rizoide (DMR), por cada marcaje realizado.....	52
Tabla 5. Número de tasas de crecimiento del LT, agrupados por rango de tallas.....	55
Tabla 6. Resultados del test- Mann-Whitney-Wilcoxon para el primer rango de talla del LT.....	56
Tabla 7. Número de tasas de crecimiento del DMR, agrupados por rango de tallas.....	58
Tabla 8. Resultados del test- Mann-Whitney-Wilcoxon para el primer rango de talla del DMR.....	59
Tabla 9. Resultados del test- Mann-Whitney-Wilcoxon para el segundo rango de talla del DMR.....	59
Tabla 10. Resultados del modelo aditivo generalizado (GAM) para el LT.....	70
Tabla 11. Rangos óptimos de las variables que favorecen al crecimiento del LT.....	71
Tabla 12. Resultados del modelo aditivo generalizado (GAM) para el DMR.....	73
Tabla 13. Rangos óptimos de las variables que favorecen al crecimiento del DMR.....	73
Tabla 14. Resultado de la ecuación teórica exponencial de crecimiento para el DMR.....	80

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Distribución mundial de <i>Macrocystis</i> y sus ecomorfos, en relación con las principales corrientes.....	5
Figura 2. Ejemplar de <i>Macrocystis pyrifera</i>	4
Figura 3. Ciclo de vida y desarrollo de <i>Macrocystis pyrifera</i>	7
Figura 4. Historia de vida y desarrollo de <i>Macrocystis pyrifera</i>	8
Figura 5. Diagrama de dispersión de la relación Temperatura (°C) vs Tasa de crecimiento de la fronda (cm/día).....	12
Figura 6. Diagrama de la concentración promedio de nitrato (μ mol/L) y la tasa de crecimiento de la fronda (cm/día).....	13
Figura 7. Desembarque de algas secas en toneladas (barras) y miles de dólares (línea)...	15
Figura 8. Precio (USD/TM) de macroalgas secas exportadas (línea verde) y precio promedio (USD/TM) en el periodo 2011 – 2018 (línea roja).....	16
Figura 9. Ubicación del área de estudio.....	31
Figura 10. Numero de esporofitos marcados y recuperados.....	41
Figura 11. Registro del promedio diario de la altura de ola de mar (m) – línea celeste e inicio del oleaje anómalo (m) – línea roja, registrada en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016.....	42
Figura 12. Temperatura superficial del agua de mar (°C) (línea roja) y temperatura de fondo (°C) (línea azul), registrada en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016.....	43
Figura 13. Temperatura superficial del agua de mar registrada en este estudio (°C) (línea roja) y promedio de la temperatura superficial de los últimos 30 años (línea azul), registrada en la base oceanográfica del Instituto del Mar del Perú.....	44
Figura 14. Salinidad del agua de mar (Ups) (línea celeste), registrada en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016, a 5 metros de profundidad.....	46

Figura 15. Potencial de hidronio del agua de mar (pH) (línea marrón), registrado en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016, a 5 metros de profundidad.....	47
Figura 16. Fosfato del agua de mar (μ mol/L) (línea ploma), registrado en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016, a 5 metros de profundidad.....	48
Figura 17. Silicatos del agua de mar (μ mol/L) (línea dorada), registrados en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016, a 5 metros de profundidad.....	49
Figura 18. Nitratos del agua de mar (μ mol/L) (línea verde oscuro), registrados en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016, a 5 metros de profundidad.....	50
Figura 19. Nitritos del agua de mar (μ mol/L) (línea verde claro), registrados en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016, a 5 metros de profundidad.....	51
Figura 20. Talla media de la longitud total de la fronda (LT, cm) de los esporofitos marcados, durante mayo 2015 a agosto 2016.....	53
Figura 21. Talla media del diámetro mayor del rizoide (DMR, cm) de los esporofitos marcados, durante mayo 2015 a agosto 2016.....	54
Figura 22. Box plot de los agrupamientos mensuales por rangos de talla del LT.....	57
Figura 23. Talla media de la longitud total de la fronda (LT, cm) en relación con la tasa de crecimiento del LT (cm/día).....	57
Figura 24. Box plot de los agrupamientos mensuales por rangos de talla del DMR....	60
Figura 25. Talla media del diámetro mayor del rizoide (DMR, cm) en relación con la tasa de crecimiento del DMR (cm/día).....	61
Figura 26. Correlación entre el logaritmo de base diez de la talla media del LT versus el porcentaje de elongación del LT (%), para cada rango de talla.....	63
Figura 27. Correlación entre el logaritmo de base diez de la talla media del DMR versus el porcentaje de elongación del DMR (%), para cada rango de talla.....	65
Figura 28. Talla media del LT (cm) versus el % de elongación diario (LT).....	66
Figura 29. Talla media del DMR (cm) versus el % de elongación diario (DMR).....	67

Figura 30. Histograma de frecuencias de las tasas de crecimiento del LT.....	68
Figura 31. Histograma de frecuencias del porcentaje de elongación diario del DMR...	69
Figura 32. Grafico del modelo aditivo generalizado para el LT.....	72
Figura 33. Grafico del modelo aditivo generalizado para el DMR.....	74
Figura 34. Relación lineal entre el diámetro mayor del rizoide real versus el diámetro mayor del rizoide teórico.....	81

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Varamiento natural de macroalgas en la zona centro sur del Perú.

Anexo 2. Zona de estudio ubicada en la parte protegida de la Isla San Lorenzo.

Anexo 3. Marcado de esporofitos (masilla y precinto).

Anexo 4. Mediciones de longitud del LT y DMR.

Anexo 5. Gráfico de Cullen y Frey para las tasas de crecimiento del LT.

Anexo 6. Gráfico de Cullen y Frey para el porcentaje de elongación del DMR.

Anexo 7. Análisis de correlación entre las tasas de crecimiento del LT y los parámetros oceanográficos.

Anexo 8. Análisis de correlación entre el porcentaje de elongación diario del DMR y los parámetros oceanográficos.

Anexo 9. Coeficientes del modelo aditivo generalizado del LT.

Anexo 10. Supuestos del modelo aditivo generalizado del LT.

Anexo 11. Coeficientes del modelo aditivo generalizado del DMR.

Anexo 12. Supuestos del modelo aditivo generalizado del DMR.

RESUMEN

El sargazo, *Macrocystis pyrifera*, es una macroalga parda de importancia comercial en muchas partes del mundo (América del Norte, Sudamérica, Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda) por su contenido de alginato útil para la industria. En Perú, esta especie se distribuye desde los 1m hasta los 15 m de profundidad, desde Lima (12°S) a Moquegua (17°S), donde vara en volúmenes importantes, el cual es colectado por pescadores artesanales. Esta macroalga representó el 86% del volumen total de macroalgas comerciales en el Perú entre los años 2009 y 2018, convirtiéndola en un recurso de importancia económica y social; sin embargo, aspectos poblacionales como el crecimiento, el cual permite conocer el incremento en biomasa y tamaño de este recurso, aún no han sido estudiado. Por tal razón, este estudio tiene por finalidad evaluar la tasa de crecimiento del alga parda *Macrocystis pyrifera*, en la Isla San Lorenzo y su relación frente algunos parámetros ambientales.

El área de estudio seleccionada fue una pradera submareal de *Macrocystis pyrifera* en la Isla San Lorenzo (12°S), donde se marcaron ejemplares de diferentes tamaños los cuales fueron medidos entre cada 4 a 8 semanas. El crecimiento se determinó mediante la tasa de crecimiento (cm/día), el porcentaje diario de elongación (%) y la tasa estándar de crecimiento (G), aplicadas a la longitud total de la fronda (LT) y al diámetro mayor del rizoide (DMR), las cuales fueron agrupadas por rangos de tallas. Se evaluó las diferencias significativas en el crecimiento del LT y DMR, mediante la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis y la de Mann-Whitney-Wilcoxon. Por otro lado, se aplicó un análisis de correlación entre los valores de parámetros oceanográficos y las tasas de crecimiento del LT y DMR. Asimismo, para determinar la condición ambiental que favoreció al crecimiento, se formuló dos modelos aditivos generalizados (GAM), uno para el LT y otro para el DMR, en base a las tasas de crecimiento (LT), porcentaje de elongación (DMR) y a los parámetros ambientales registrados durante el estudio.

En el caso del LT, se obtuvo la mayor tasa de crecimiento en el mes de junio 2016 (6.43 cm/día). Se encontró diferencias significativas en el crecimiento cuando el $LT < 150$ cm, y el rango de tallas donde el crecimiento fue más rápido fue de: $150 < LT < 300$ cm ($G = 0.17$). Asimismo, se identificó a la temperatura ($< 17.8^{\circ}\text{C}$), los nitratos ($6 - 12 \mu\text{mol/l}$) y los silicatos ($> 12 \mu\text{mol/l}$) como los parámetros oceanográficos que influyeron

significativamente sobre su crecimiento, obteniendo un GAM con 51.2% de desviación explicada. En el caso del DMR, la tasa de crecimiento más alta, se registró en agosto 2016 (0.22 cm/día). No se encontró diferencias significativas en el crecimiento de los agrupamientos por rangos de tallas y el rango donde el crecimiento fue más rápido fue cuando el DMR < 10 cm ($G = 0.041$). Mediante el GAM, se identificó los rangos óptimos de los parámetros oceanográficos que influyen sobre su crecimiento: 34.4 - 35.1 Ups para la salinidad, $>12 \mu \text{ mol/l}$ para los nitratos y de 6 – 12 $\mu \text{ mol/l}$ para los silicatos, obteniendo un GAM con una desviación explicada del 57%. Por último, se formuló una ecuación teórica de crecimiento, que permite estimar la longitud final del DMR, utilizando una longitud inicial y el tiempo. Esta ecuación obtuvo un valor de correlación de Spearman de 0.93 al relacionar las longitudes finales de los DMR reales, con los DMR estimados por la ecuación teórica propuesta.

Por todo lo descrito, el presente estudio contribuye con información técnica poblacional que servirá de insumo en la elaboración de planes de manejo pesquero en praderas de macroalgas teniendo como especie dominante a *Macrocystis pyrifera*.

Palabras Clave: *Macrocystis pyrifera*, Crecimiento, Parámetros Ambientales, Callao.

I.- INTRODUCCIÓN

En el Perú, las macroalgas tienen una gran importancia socioeconómica para la comunidad pesquera artesanal, ya que muchas familias dependen directa o indirectamente de su aprovechamiento. Algunas especies son aprovechadas en el proceso de varamiento y otras son extraídas convirtiéndolas en recursos de gran importancia socioeconómica, especialmente en la zona centro y sur de la costa peruana. Las macroalgas se exportan como materia prima para la industria de alginatos, carragenanos y agar; además, en menor grado, sirven como alimento de bajo contenido calórico para consumo humano ya que aporta un amplia gama de nutrientes esenciales, poseen bajo contenido de lípidos, un alto valor en ácidos grasos insaturados y presentan concentraciones de fibra relativamente considerables (Ortiz 2011).

Las especies que sustentan la pesquería de algas pardas en el Perú, son: *Macrocystis pyrifera* y las algas del género *Lessonia* (*L. trabeculata* y *L. nigrescens*) las cuales forman grandes praderas intermareales y submareales de gran extensión (IMARPE 2012). Estas especies de macroalgas, tienen una gran importancia ecológica en el medio donde habitan, ya que son consideradas especies clave para la coexistencia de organismos, porque permiten albergar y dar protección a una gran diversidad de organismos, incluyendo peces, algas, moluscos, entre otros (Adami y Gordillo 1999; Palacios y Mansilla 2003, Plana *et al.* 2007 y Vásquez *et al.* 2012). Según las estadísticas pesqueras sobre macroalgas comerciales marinas en el Perú, entre el periodo 2009 – 2017, *Macrocystis pyrifera* representó el 86% (136690.9 t) del total del volumen total de macroalgas aprovechadas. Su creciente demanda y altos niveles de explotación amenazan con la sostenibilidad de sus praderas y por lo tanto de la diversidad de especies que habitan en ellas. Por ello es sumamente relevante conocer los procesos más importantes que gobiernan la dinámica de estas praderas, como son el reclutamiento y el crecimiento de nuevos esporofitos. Ambos procesos son fundamentales, sin embargo, es el proceso del crecimiento, el encargado de sostener la estructura y la productividad de las praderas algales (Graham *et al.* 2007).

En la actualidad, no se cuenta con información sobre el crecimiento de las praderas de *Macrocystis pyrifera* que habitan frente a la isla San Lorenzo, las cuales son consideradas como el límite norte de la distribución en el Pacífico Sur y aun cuando todavía no contribuyen con volúmenes de aprovechamiento, estas praderas son de vital importancia, ya que soportan importantes cambios oceanográficos a escala regional (El Niño, La Niña, Ondas Kelvin), que hacen que estas poblaciones tengan una diversidad genética distinta (Salvarría 2014), por lo que en el futuro podrían servir como sumideros para el repoblamiento de otras zonas.

Por esta razón, se planteó la presente tesis, la cual evalúa la tasa de crecimiento de esporofitos de *Macrocystis pyrifera*, con la finalidad de comprender su crecimiento en un ambiente natural y su relación con algunos parámetros ambientales. Para ello, se planteó los siguientes objetivos específicos: (1) determinar las tasas de crecimiento de esporofitos de *Macrocystis pyrifera* en base a la longitud total de la fronda (LT) y al diámetro mayor del rizoides DMR, (2) evaluar el efecto de la temperatura, salinidad, pH, fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos sobre el crecimiento, y (3) proponer una ecuación teórica que represente el crecimiento de *Macrocystis pyrifera*.

II.- REVISIÓN LITERARIA

2.1.- Distribución y diversidad del genero *Macrocystis*

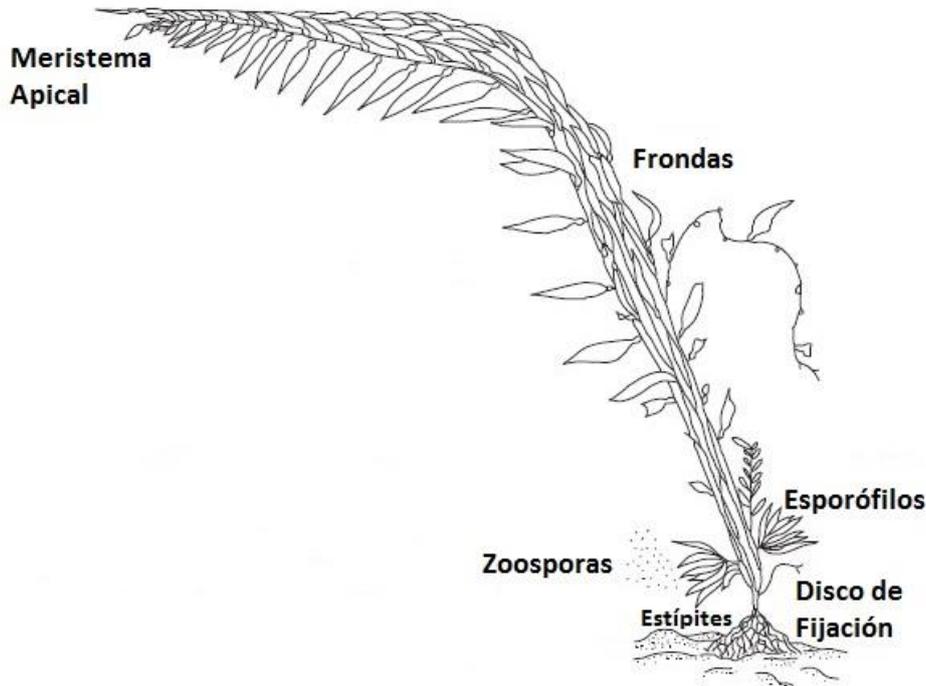
Alrededor del mundo, el género *Macrocystis* presenta una distribución en ambos polos. En el hemisferio norte, se encuentra en el Pacífico noroeste, desde Alaska hasta México, y en el hemisferio sur, se encuentra en América del Sur, en Perú, Chile y Argentina. Asimismo, también se encuentra en regiones aisladas de África del Sur, Australia, Nueva Zelanda y alrededor de la mayor parte de las islas Sub-Antárticas (Schiel y Foster 2015) (ver figura 1).

Hasta la década de los 70's, se habían descrito tres especies del género *Macrocystis*: *M. pyrifera*, *M. integrifolia* y *M. angustifolia*, describiendo la morfología del disco de fijación como característica para distinguir estas especies (Womersley 1954 y Neushul 1971 citados por Schiel y Foster 2015). Hay (1986), describió una cuarta especie *Macrocystis leavis* en las Islas Sub – Antárticas Marion, basándose en la suavidad de las hojas de las kelp. En la primera década de los 2000's, se realizaron trabajos en taxonomía molecular, donde se analizó el ADNr (Coyer *et al.* 2001) y el Código de barras del ADN (Macaya y Zuccarello 2010) de las cuatro especies en el hemisferio sur y dos especies en el hemisferio norte (*M. pyrifera* y *M. integrifolia*), concluyendo que *Macrocystis* es un género mono específico y esto fue confirmado por (Astorga *et al.* 2012). En conclusión, todas las especies descritas anteriormente, se resumen en una sola, *Macrocystis pyrifera*.

2.2.- Aspectos generales de *Macrocystis pyrifera*

Macrocystis pyrifera (ver figura 2) es una alga parda comúnmente llamada: Giant Kelp (USA), Sargazo gigante (México), String kelp (Australia), Huiro (Chile) y Sargazo o bolita (Perú), presenta una coloración parda, café y puede llegar a medir hasta 30 metros de longitud (Schiel y Foster 2015). Su estructura morfológica se compone de un disco de fijación o rizoide, que alcanza hasta los 40 cm de diámetro y 35 cm de altura (Plana *et al.* 2007); estípites largos, cilíndricos, flexibles y de ramificación dicotómica; y frondas o láminas que surgen de los estípites. Las láminas son lanceoladas y rugosas con márgenes dentados y aquellas laminas cercanas a la base no presentan neumatóforos, que son estructuras globosas llenas de aire que proporcionan flotabilidad a la planta (IMARPE 2007). Originalmente el término “Kelp” se refería a las cenizas calcinadas resultantes de la quema de grandes algas pardas. Algunas veces se usa como nombre común para todas

las grandes algas pardas, pero en particular para las especies del orden Laminariales (Schiel y Foster 2015).



Tomado y modificado de Schiel y Foster 2015.

Figura 2. Ejemplar de *Macrocyctis pyrifera*.

2.2.1.- Hábitat y distribución

En su medio natural, *Macrocyctis pyrifera* crece en sustratos duros o rocosos entre la baja intermareal y los 25 metros de profundidad (Graham *et al.* 2007). Su presencia está regulada por el aumento de la alta radiación ultravioleta y la desecación en los ambientes intermareales (Huovinen *et al.* 2000). De otro lado, la actividad del oleaje, el pastoreo generado por el erizo de mar y la competencia con otras algas regulan su presencia en el ambiente submareal (Foster y Schiel 1992, citados por Graham *et al.* 2007). Asimismo la disponibilidad de la luz y el sustrato rocoso, parecen establecer los límites inferiores de las poblaciones de *Macrocyctis pyrifera* (Vega *et al.* 2005) y probablemente su distribución lateral estén reguladas por los cambios de la batimetría o composición del sustrato (Dayton *et al.* 1992 y Kinlan *et al.* 2005).

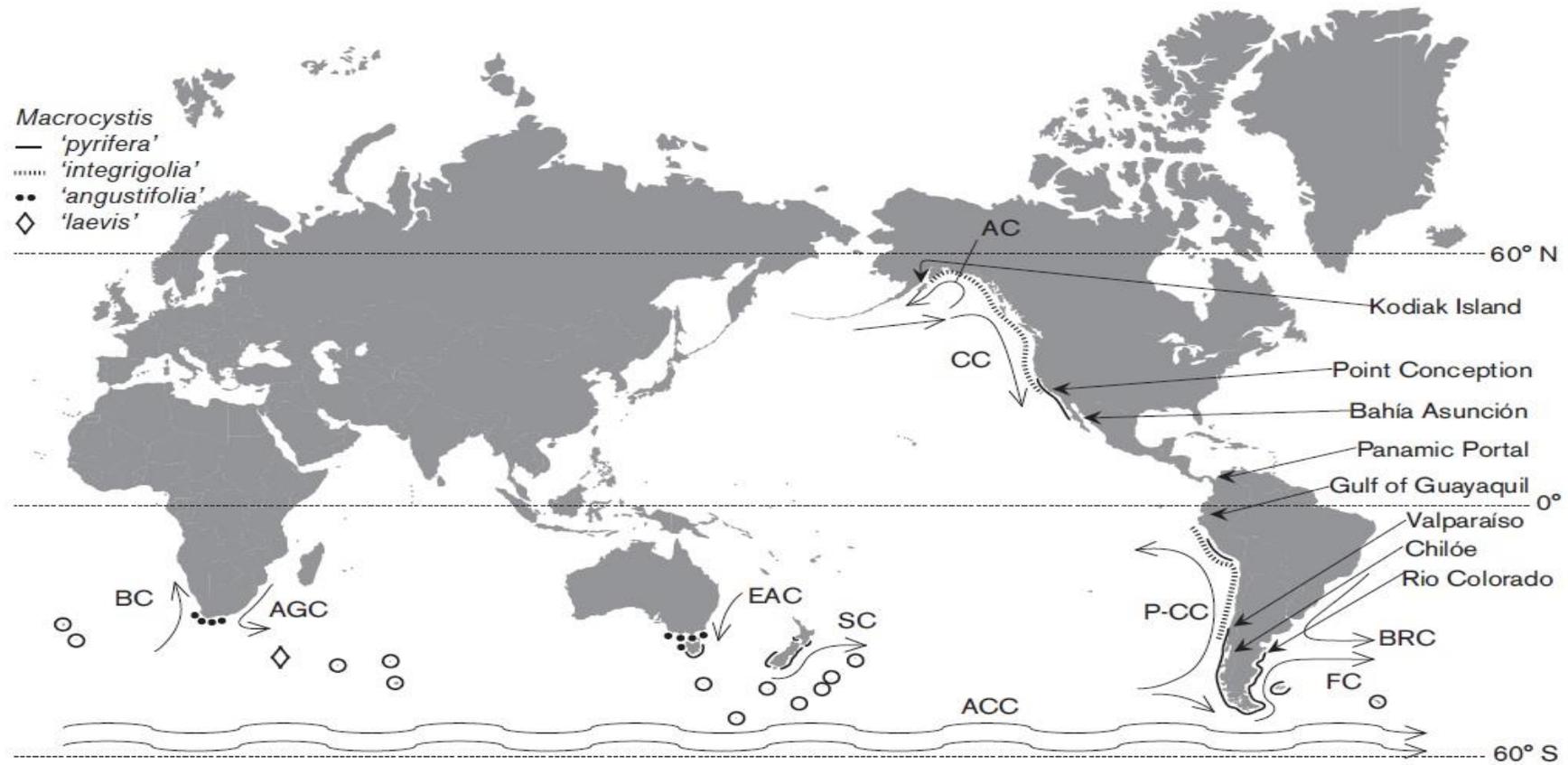


Figura 1. Distribución mundial de *Macrocyctis* y sus ecomorfos, en relación con las principales corrientes. Tomado de Schiel y Foster 2015. Corrientes: AC = Alaska; ACC = Circumpolar Antártica; AGC = Agulhas; BC = Benguela; BRC = Brasil; CC = California; EAC = oriental de Australia; FC = Malvinas; P-CC = Perú-Chile; SC = Southland

En el Perú, diversos autores han registrado la presencia de *Macrocystis pyrifera* a lo largo de la costa peruana. Acleto (1986), menciona que los mayores registros se encuentran en la zona centro y sur de nuestro litoral. Por otro lado, Noodt (1958) citado por Acleto (1986) menciona que la distribución norte, en la costa central de Perú, está a la altura del km 235 de la carretera Panamericana Norte (Chimbote) y a la vez menciona un registro en la Isla Lobos de Tierra (Piura). Tarazona *et al* (1988), reportó que hasta marzo del 1987, no se encontró registro de *Macrocystis pyrifera*, en la bahía de Ancón. Actualmente se desconoce la ubicación exacta, del límite de distribución norte en Perú de *Macrocystis pyrifera*, sin embargo se considera a la Isla San Lorenzo (Callao), como el lugar con la distribución más al norte donde se reporta la presencia de esta alga.

2.2.2.- Taxonomía

Por otro lado, la clasificación taxonómica aceptada por los ficólogos, para *Macrocystis pyrifera*, es la del esquema de Cavalier-Smith (2010), donde se le clasificó de la siguiente manera:

- Dominio: Eukarya
- Reino: Chromista.
- Phylum: Ochrophyta.
- Clase: Phaeophyceae
- Orden: Laminariales
- Familia: Laminariaceae
- Género: *Macrocystis*
- Especie: *pyrifera*

2.2.3.- Ciclo de Vida

Macrocystis pyrifera cumple con un ciclo de alternancia de generaciones que consta de fase microscópica: Gametos Haploides (n) y fase macroscópica: Gametos Diploides (2n), (Schiel y Foster 2015). En la fase microscópica, las zoosporas (6-8 μ m) son liberadas a la columna de agua, y por acción de las corrientes, estas son dispersadas hasta que logran asentarse, germinar y desarrollarse para convertirse en gametofitos masculinos o femeninos. Conforme van madurando, los gametofitos hembras liberan una feromona llamada Lamoxirene (Maier *et al.* 1987, 2001 citado por Schiel y Foster 2015), la cual, al ser rastreada por los esporofitos masculinos, los estimula a liberar sus anterozoides

(esperma) y permite que se produzca la fertilización, originando esporofitos diploides microscópicos, los cuales finalmente llegan a crecer hasta tamaño macroscópico (Schiel y Foster 2015). Estos esporofitos macroscópicos se fijan al sustrato mediante su disco de fijación o rizoides (formado de hapterios ramificados), de los cuales surgen estípites y meristemas apicales. Conforme los esporofitos van creciendo, aparecen unas cámaras llenas de aire que funcionan como boyas y que les permite permanecer erguidas en dirección hacia la superficie, llamadas pneumatocystos o aerocystos (Graham *et al.* 2007). Otros estípites de menor tamaño originan unas láminas especializadas llamadas esporofilas, los cuales contienen esporangios y soros (Neushul 1963, citado por Graham *et al.* 2007). El desarrollo de las fases (microscópica y macroscópica) que experimenta los esporofitos de *Macrocystis pyrifera*, se observa en la figura 3 y el tiempo aproximado que tarda cada una de estas fases, se observa en la figura 4, la cual brinda una visión general de la historia de vida de la *Macrocystis pyrifera* y los kelps en general.

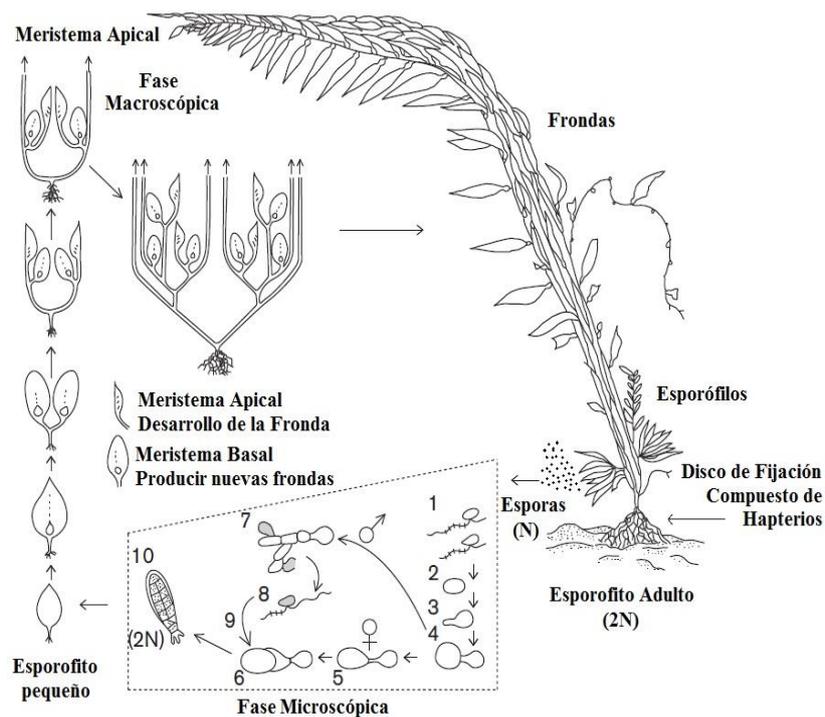


Figura 3. Ciclo de vida y desarrollo de *Macrocystis pyrifera*.

1. Las zoosporas 2. Esporas asentadas 3. Desarrollo de tubo germinal 4. Gametofito germinado 5. Gametofito femenino con oogonio 6. Gametofito femenino con huevo extruido a izquierda 7. Gametofito masculino multicelular con anteridios 8. Anterozoide (esperma) 9. La fertilización 10. Esporofito embrionado con rizoides para la fijación. (Modificado de Schiel y Foster 2015).

Historia de Vida

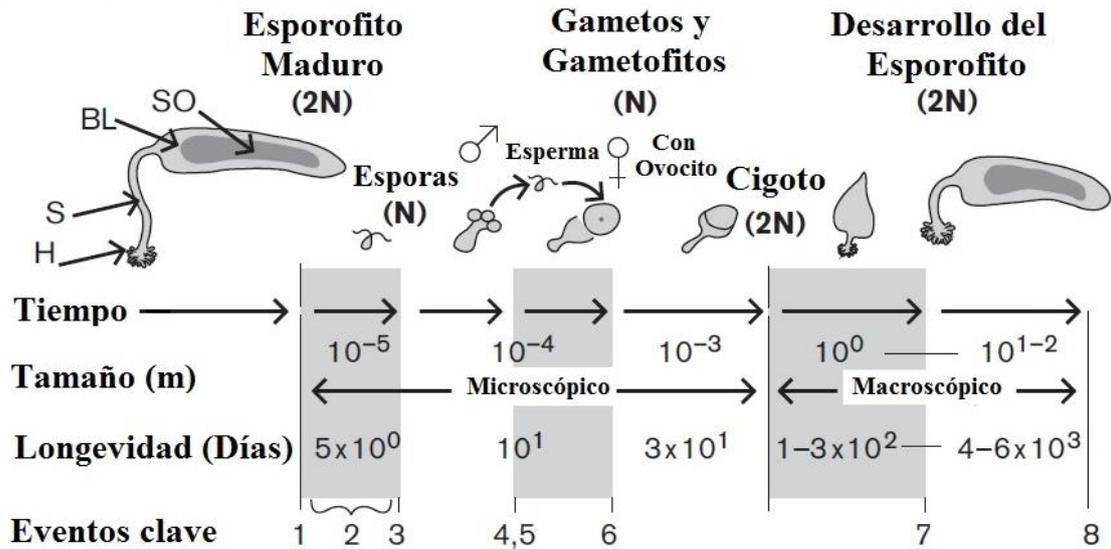


Figura 4. Historia de vida y desarrollo de *Macrocystis pyrifera*. BL = Hoja; H = Disco de fijación; S = Estípites; SO = Soros. 1: Producción de esporas; 2: Dispersión de esporas; 3: Asentamiento de esporas; 4: Producción de gametos; 5: Dispersión de esperma; 6: Fertilización; 7: Desarrollo de esporangios; 8: Esporofitos / Mortalidad de plantas adultas. Tomado y modificado de Schiel y Foster (2015).

2.2.4.- Crecimiento

El crecimiento individual de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera*, es el que sustenta el crecimiento y la productividad de las praderas algales, debido a que existe una estrecha dependencia entre el crecimiento de los esporofitos y la producción de biomasa (Graham 2002), ya que los esporofitos de gran tamaño logran tener un mayor número de hojas (hasta 400 hojas). En lugares como la Columbia Británica, el sureste de Alaska, las Islas Kerguelén y Malvinas, el crecimiento del esporofito sigue patrones estacionales referidos a la radiación solar, el alargamiento de la fronda va de 2 a 4.7 cm/día durante el verano. En latitudes más bajas, como California, se han descrito distintos patrones de crecimiento debido a la variabilidad de la radiación solar (North 1971, Hernández-Carmona 1996). En cambio Zimmerman y Kremer (1986), describen las tasas de crecimiento temporal de la fronda (en California) que correspondían a la variabilidad en la concentraciones de nutrientes (nitrato), en el cual el crecimiento de la fronda se maximiza durante el invierno – primavera (12 – 14 cm/día, en periodos de surgencia) y se reducen al mínimo durante el verano – otoño (10.6 cm/día, en periodos de no surgencia), (Graham *et al.* 2007). En Nueva Zelanda, las tasas mínimas de crecimiento de la fronda de *Macrocystis* también

ocurrieron durante el verano, pero éstas eran relativamente altas durante el resto del año (Brown *et al.* 1997), mientras que las tasas de crecimiento de la frondas en la parte norte de Chile fueron de 5 – 10 cm/día y no se observó ninguna variabilidad estacional (Vega *et al.* 2005).

Por otro lado, los esporofitos de *Macrocystis pyrifera* tienen una capacidad de almacenamiento de nutrientes muy limitadas, por ello necesitan altas tasas de productividad de nutrientes para mantener el crecimiento del esporofito y poder hacerle frente a las altas demandas metabólicas (Jackson 1987 y Brown *et al.* 1997). Las capacidades de almacenamiento bajas son una desventaja durante periodos de condiciones ambientales poco óptimas, como las que se producen estacionalmente en el sur de California y en el sur de Chile (Buschmann *et al.* 2004). Santelices y Ojeda (1984), describieron que los esporofitos juveniles de *Macrocystis* podían sobrevivir durante muchos meses bajo los doseles de los adultos, creciendo rápidamente a tamaño adulto cuando las densidades de los adultos disminuyeron y la luz logro estar disponible para ellos. Aunque se desconoce cómo estos juveniles pueden sobrevivir a tales condiciones, es posible, que los niveles de luz bajo el dosel eran adecuados para satisfacer las demandas metabólicas de los juveniles, pero eran insuficientes para sostener el crecimiento. En consecuencia, es complicado relacionar el tamaño del esporofito con su edad, lo cual es perjudicial para los investigadores que tratan de utilizar el tamaño como una aproximación de la edad (Santelices y Ojeda 1984), sin embargo, estructuras del esporofito como el disco de fijación pueden ser menos variables y su tamaño permitirá tener una mejor relación con la edad del alga (González *et al.* 1991).

Finalmente, otra característica fundamental del potencial de crecimiento de *Macrocystis* es que la iniciación de la fronda es indeterminado, siempre y cuando los meristemas de crecimiento y las condiciones abióticas son propicias para la supervivencia, ya que los esporofitos pueden tolerar pérdida de biomasa (pérdida de frondas) (North 1994, Graham *et al.* 2007). Asimismo, se ha demostrado que la respuesta del crecimiento de los juveniles de *Macrocystis* a diferentes concentraciones de nutrientes está bajo control genotípico (Kopczak *et al.* 1991, Graham *et al.* 2007). Se desconoce como tal variación genotípica puede ocurrir a pesar del poco flujo de genes entre las poblaciones de *Macrocystis* (Coyer *et al.* 2001). En el Perú, no se han realizado trabajos específicos de crecimiento de *Macrocystis pyrifera*, lo cual genera un vacío importante de información.

2.2.5.- Mortalidad

Según lo descrito por North (1994), las frondas individuales de *Macrocystis pyrifera*, envejecen después de 6 - 8 meses de edad, aunque Van Tüssenbroek (1989), citado por Graham *et al.* 2007, encontró que los esporofitos mayores de un año de edad pueden producir nuevas frondas a partir de los meristemas apicales. En consecuencia, los esporofitos pueden sobrevivir el mayor tiempo posible, siempre y cuando permanezcan fijos al sustrato y existan las condiciones ambientales adecuadas para el crecimiento (Graham *et al.* 2007). En algunas regiones del centro de California y Argentina, la mayoría de los esporofitos de *Macrocystis* mueren dentro de un año debido a la alta actividad del oleaje, mientras que en el sur de California, los esporofitos pueden vivir entre 4 – 7 años, periodicidad que coincide con la periodicidad de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), (Rosenthal *et al.* 1974, Dayton *et al.* 1984, citados por Graham *et al.* 2007). En el sur de Chile, la vida útil de esporofitos de *Macrocystis* a menudo excede los 2 años (Santelices y Ojeda 1984, Westermeier y Möller 1990).

Por otro lado, frente a las costas peruanas existen dos tipos de oleajes bien definidos: El oleaje normal, el cual es el comportamiento estadístico normal en la condición del estado del mar, y el oleaje anómalo (“Braveza del mar”), el cual hace referencia a las condiciones del estado del mar donde las olas superan el comportamiento normal (Fuente: DHN, disponible en: <https://www.dhn.mil.pe/>). Este oleaje anómalo (ligero, moderado, fuerte o de muy fuerte intensidad), en interacción con los diversos procesos físicos, químicos y oceanográficos que ocurren dentro del mar, son los encargados del proceso de pérdida de fronda y varamiento de las praderas de macroalgas, que ocurren a lo largo de la costa centro sur del país (Ver Anexo 1). Foster y Schiel 1992, mencionan que la actividad del oleaje regula la presencia de *Macrocystis pyrifera* en el ambiente submareal. Graham *et al.* 1997, hacen referencia que, en lugares como California y Argentina, los esporofitos de *Macrocystis* mueren al año, debido a la intensa actividad del oleaje. La senescencia, el estrés térmico, una baja concentración de nutrientes y a una alta actividad del oleaje, podrían ser responsables del deterioro y de la pérdida de la canopia superficial de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera* (Rodríguez *et al.* 2013). Finalmente, Arntz y Fahrback (1996), mencionan a los factores que influyen en la alta mortalidad de algas pardas durante un evento “El Niño”, los cuales son: La temperatura del agua de mar, cambios en las concentraciones de salinidad, la elevada radiación solar, la interacción con los otros organismos y los fuertes oleajes o marejadas que ocurren durante tal evento.

2.3.- Efectos de los parámetros ambientales sobre el crecimiento

El interés en la comprensión de la biología y ecología de *Macrocystis pyrifera* ha dado lugar a muchas investigaciones sobre los requisitos físicos y químicos y sus cantidades o niveles necesarios para el crecimiento y la reproducción. *Macrocystis pyrifera* obtiene sus nutrientes en la masa de agua que la rodea ya que, a diferencia de las plantas terrestres, carece de raíces que podrían facilitar la absorción de nutrientes provenientes de la tierra. Sus discos de fijación, no tienen funciones especiales en la absorción de nutrientes y a excepción de la canopia, la cual muchas veces está expuesta en la superficie del mar, los tejidos de *Macrocystis pyrifera* no están expuestos al aire y por ende todos los procesos metabólicos ocurren en el agua (Schiel y Foster 2015). Adicionalmente, la alta variabilidad de los factores ambientales a la que podrían estar sujetos los bosques de *Macrocystis pyrifera*, en su medio natural, pueden afectar en gran medida al éxito del reclutamiento y a la finalización de su ciclo de vida.

Schiel y Foster (2015) han publicado los rangos de tolerancia a la salinidad, temperatura, nitrato y luz de esta especie (Tabla 1), para los distintos estadios de crecimiento de los esporofitos. Los mismos autores basados en correlaciones entre la distribución y la temperatura sostienen que los esporofitos de *Macrocystis* presentan una baja sobrevivencia en aguas muy frías o muy calientes.

Tabla 1. Requerimientos abióticos de *Macrocystis pyrifera*. (Modificado de Schiel y Foster 2015).

Estadio	Salinidad (‰)	Temperatura (°C)	Nitrato (μmol/L)	Luz (PAR 400 – 700 nm) ^a
Esporofitos				
Juveniles	> 22 ^b	0 – 20 ^c	> 1 ^e	2-3 mol/m ² . día ^f
Adultos		8 – 23 ^d		
Esporas	< 43 ^g	ND	ND	90 μ mol/m ² .sec ^h
Gametofitos	25 – 35 ⁱ	-1.5 – 26 ^j 10 – 17 ^k	> 1 ^l	~0.4 mol/m ² . día

^a Radiación fotosintéticamente activa; ^b Baja tolerancia a la salinidad; ^c Temperaturas más bajas y más altas de la superficie, basadas en la distribución total geográfica; ^d Gama de temperaturas de la superficie de las poblaciones de campo en Chile; ^e Variación debido a la interacción entre la temperatura y nutrientes; ^f Saturación de la fotosíntesis en los experimentos de campo; ^g Tolerancia a la alta salinidad para la formación del tubo de germinación y el germen; ^h Saturación de la fotosíntesis en el laboratorio; ⁱ Para gametogénesis (Sanbonsuga y Neushul 1978); ^j Los límites de tolerancia para la

supervivencia (Schiel y Foster 2015); ^k Rango de temperatura óptima para la gametogénesis femenina (Lüning y Neushul 1978); ^l Probablemente datos obtenidos en Deysher y Dean (1986).

Por otro lado, Jackson (1977), Zimmerman y Robertson (1985) mencionan la relación inversa que existe entre la temperatura y los nitratos, como una relación de gran importancia para el crecimiento y productividad en los bosques de macroalgas marinas. Esta relación varía entre sitios y años, pero se observa una fuerte correlación entre el nitrógeno y la temperatura del agua de mar por debajo de los 15°C. Zimmerman y Kremer (1986), en la Isla Santa Catalina al sur de California, encontraron que las tasas de crecimiento de la fronda de *Macrocystis pyrifera* fue constante entre 14.5 °C y 18.5 °C, pero por encima de este rango hubo una disminución lineal en la tasa de crecimiento (ver figura 5). Ellos, atribuyen este efecto a la baja concentración de nutrientes a altas temperaturas. Sin embargo, también pueden existir poblaciones locales con adaptaciones que le permitan soportar temperaturas más altas, al menos por periodos cortos Zimmerman y Kremer (1986).

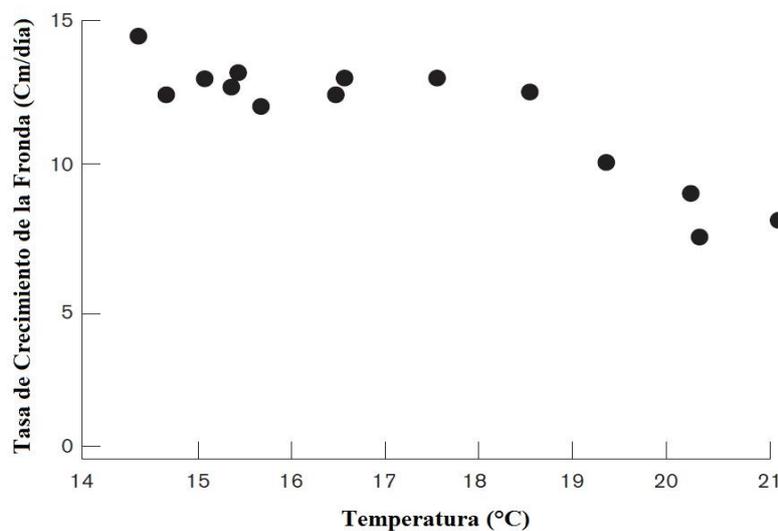


Figura 5. Diagrama de dispersión de la relación Temperatura (°C) vs Tasa de crecimiento de la fronda (cm/día). Tomado y modificado de Zimmerman y Kremer (1986).

Asimismo, estos autores encontraron que existe una relación hiperbólica de saturación entre la tasa de crecimiento de la fronda y la concentración promedio de nitrato en el agua de mar (Ver figura 6). El crecimiento se redujo considerablemente por debajo de 1 μ mol/l de nitratos, pero alcanza su valor máximo por encima de los 2 μ mol/l, para luego ser constante conforme aumenta la concentración. Cabe mencionar que a temperaturas altas,

el nitrato generalmente cae por debajo de $1 \mu\text{ mol/l}$, el cual es lo mínimo requerido para el crecimiento de las macroalgas “kelps”. Por otra parte, Gerard (1982), encontró que la concentración de nitrógeno inorgánico en la masa de agua circundante, debe estar alrededor de $1 - 2 \mu\text{ mol/l}$ para que las kelps puedan soportar un crecimiento alrededor del 4% en peso húmedo por día.

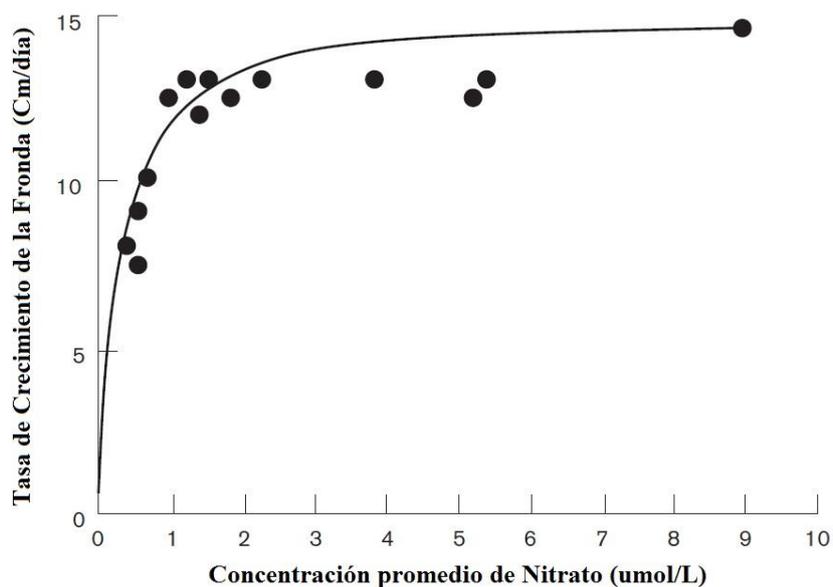


Figura 6. Diagrama de la concentración promedio de nitrato ($\mu\text{ mol/l}$) y la tasa de crecimiento de la fronda (Cm/día). Tomado y modificado de Zimmerman and Kremer (1986).

Otro factor importante a considerar es la luz. Lüning y Neushul 1978, citados por Graham *et al.* 2007, identificaron a la luz, en calidad y cantidad, como factor importante en la regulación de la gametogénesis femenina en *Macrocystis pyrifera*. Mientras que Deysher y Dean (1984, 1986 citados por Graham *et al.* 2007), cuantificaron los requerimientos mínimos de luz (PAR), temperatura y nitratos de la gametogénesis y fertilización de *Macrocystis*, los cuales arrojaron valores por encima de $0.4 \mu\text{ M}$ fotones ($\mu\text{ Einsteins}$) $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ para la luz, un rango entre 11° a 19°C para la temperatura y concentraciones $>1 \mu\text{ mol}$ para los nitratos. Adicionalmente, encontraron que el crecimiento de los esporofitos embrionados a tamaño macroscópico fue inhibido por bajas concentraciones de luz (PAR) y nitratos ($\mu\text{ mol}$), pero estos bajos niveles de luz y nitratos fueron más altos que los niveles mencionados en la gametogénesis y la fertilización. Por ende, estos autores sugieren que el crecimiento de los esporofitos embrionados a tamaños macroscópicos

podría ser realmente, la barrera más fuerte en la historia de vida de *Macrocystis pyrifera*, en comparación con las etapas de gametogénesis y fertilización.

En muchas regiones, la luz y los nutrientes pueden estar presentes en concentraciones muy por encima de los requerimientos mínimos durante todo el año (por ejemplo, el centro de California o el centro de Chile) permitiendo así continuamente una alta productividad del esporofito de *Macrocystis* (Jackson 1987). En general, el crecimiento del esporofito de *Macrocystis*, la productividad y la reproducción son muy sensibles a la variabilidad de las condiciones ambientales (Graham *et al.* 2007).

2.4 Importancia económica de las macroalgas pardas

2.4.1.- Aprovechamiento y Exportaciones

En diferentes partes del mundo, existe una gran diversidad de macroalgas, las cuales tienen impactos económicos y sociales en las poblaciones locales, debido a que estas poblaciones basaron su apoyo económico en el aprovechamiento de estos recursos (Vásquez, 2008). En países como Canadá, México, Noruega, Francia, China y Japón, se explotan praderas naturales de macroalgas pardas con el propósito de generar materia prima para la extracción de ácido algínico, cuyo principal destino es la industria de alginatos (Plana *et al.* 2007). De toda la diversidad de macroalgas pardas, *Macrocystis pyrifera* es la que a nivel mundial genera más de 250 millones de dólares anuales, gracias a que es utilizado como fuente de alginatos (Vásquez, 1999).

En Perú, el aprovechamiento de las macroalgas pardas es la que en gran medida sustenta la exportación de macroalgas secas no aptas para el consumo humano directo, la cual tienen como principal destino China, quien anualmente (2011 – 2018) ha comprado más del 98% de nuestras exportaciones. Cabe mencionar que *Macrocystis pyrifera* representa casi el 86% del total de todos los desembarques, participando con un porcentaje similar en términos económicos (Fuente: Prom Perú, disponible en: http://www.siicex.gob.pe/promperustat/frmPaises_x_Partida.aspx; y Trademap, disponible en: <http://www.trademap.org/Index.aspx>). A continuación, en la figura 7, se observa los niveles de desembarques de macroalgas secas (TM) y el valor FOB (Miles USD), que alcanzaron estos niveles:

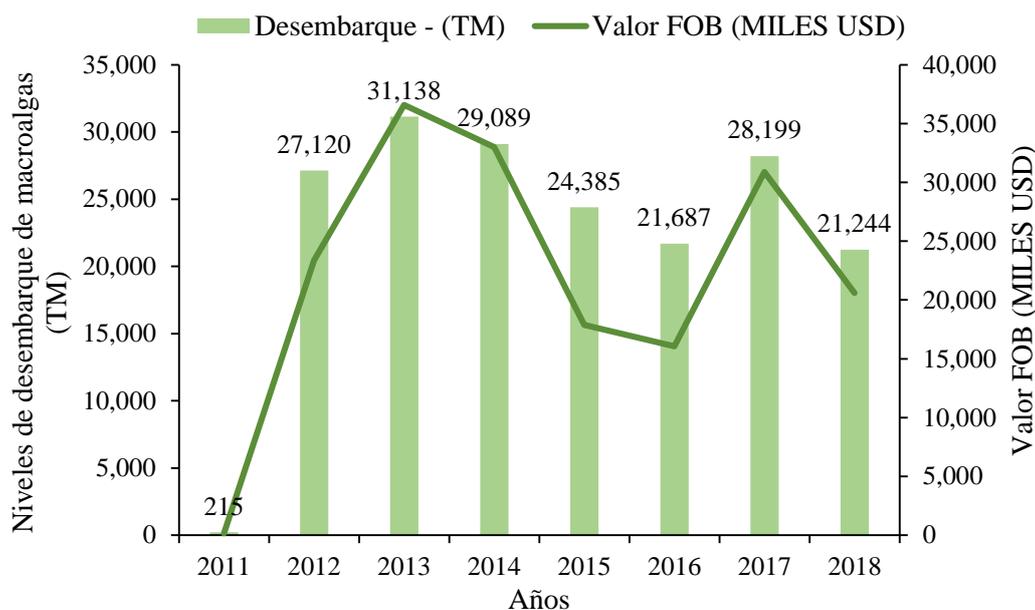


Figura 7. Desembarque de macroalgas secas en toneladas métricas (barras) y miles de dólares (línea). Elaborada con datos de PROM PERÚ y TRADEMAP.

En el periodo 2011 -2018, los niveles de desembarque de las macroalgas secas no aptas para el consumo humano directo, fueron variables, registrándose desembarques que oscilan aproximadamente entre los veinte un mil y treinta y un mil toneladas métricas anuales. El valor FOB en miles USD, obtenido por estas exportaciones osciló aproximadamente entre los dieciséis mil y los treinta y seis mil miles USD (todo esto sin considerar el año dos mil once donde se registró un desembarque de doscientas quince toneladas métricas y un ingreso de ciento cincuenta y tres mil USD). En función a lo descrito, el precio en USD por tonelada métrica, en dicho periodo, varió aproximadamente entre los ochocientos cincuenta y los mil cuatrocientos dólares; y el precio promedio para este periodo, es de mil ciento diecinueve con cuarenta centavos de USD (ver figura 8).

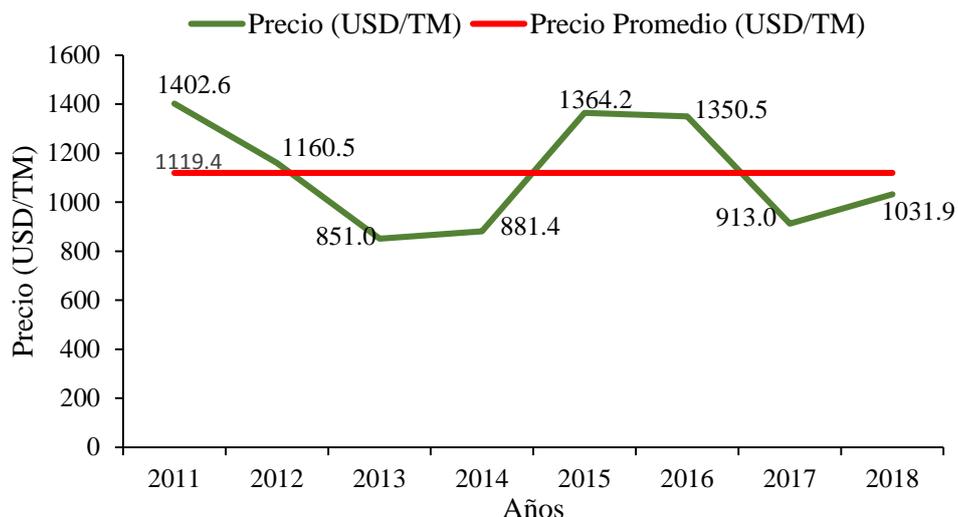


Figura 8. Precio (USD/TM) de macroalgas secas exportadas (línea verde) y precio promedio (USD/TM) en el periodo 2011 – 2018 (línea roja).

En resumen, el aprovechamiento y la exportación de las macroalgas secas no aptas para el consumo humano directo, son de vital importancia, ya que generan considerables ingresos económicos, los cuales son el sustento, no solo de la comunidad pesquera artesanal que se dedica a su aprovechamiento, sino también de toda la cadena de valor que se genera producto de esta actividad.

2.4.2.- Extracción y manejo de las macroalgas

A lo largo de la costa sur de Perú (Ica-Arequipa-Moquegua), encontramos a las comunidades pesqueras artesanales que se dedican al aprovechamiento de las macroalgas pardas, quienes dependen directa o indirectamente de esta actividad. El aprovechamiento de estos recursos está bajo el régimen del Reglamento de Ordenamiento Pesquero (ROP MACROALGAS – Decreto Supremo - 019 - 2009 – PRODUCE), el cual tiene como uno de sus objetivos principales: “Garantizar el aprovechamiento racional y sostenible de las macroalgas marinas y el desarrollo de su pesquería a largo plazo, en base a los principios de pesca responsable contenidos en la legislación pesquera nacional y también en el código de conducta para la pesca responsable de la FAO”. En ese sentido, este ROP, define las especies que sustentan la pesquería de algas pardas en el Perú, la cual está conformada por tres especies: *Macrocystis pyrifera*, *Lessonia trabeculata* y *Lessonia nigrescens*. Asimismo, también define el modo de aprovechamiento de estos recursos, la cual se realiza mediante dos actividades bien definidas: la colecta, la cual es la forma

pasiva de aprovechamiento de *Macrocystis pyrifera* y *Lessonia trabeculata* que consiste en recolectar de la zona intermareal o en las zonas de orilla, el alga que es varada naturalmente por acción del oleaje y las corrientes marinas costeras; y la cosecha, la cual es la forma activa de aprovechamiento que utiliza barretas o cuchillas para cosechar las poblaciones de *Lessonia nigrescens* presentes en las zonas intermareales (Vásquez 2009).

Debido a la creciente demanda en el mercado internacional, el cual generó un gran interés por parte de las comunidades pesqueras artesanales que se dedican a la explotación (recolección y extracción) de estos recursos (Vásquez *et al.* 2014), las praderas submareales podrían verse muy afectadas si no están sujetas a un régimen de aprovechamiento sostenible en el tiempo. En ese sentido, el Ministerio de la Producción, mediante el artículo 6° del Reglamento de Ordenamiento Pesquero de Macroalgas (ROP-MACROLAGAS-DS 019-2009-PRODUCE), menciona lo siguiente: “El Ministerio de la Producción, en función a las opiniones técnicas del Instituto del Mar del Perú y de los factores socioeconómicos, establece los regímenes de acceso, volumen total de extracción permisible, magnitud del esfuerzo de pesca, cuotas, aparejos, métodos y sistemas de extracción permitidos, zonas y temporadas de extracción, épocas de veda, tamaño mínimo de los especímenes, diámetro mínimo del rizoide y otras medidas de conservación de las diversas especies de macroalgas marinas, mediante sus resoluciones ministeriales”, esto con la finalidad de salvaguardar el aprovechamiento sostenible de tales recursos. Asimismo, en conjunto con el IMARPE y bajo un enfoque precautorio implementaron medidas de control para proteger a dichas poblaciones algales, mediante la Resolución Ministerial N°839 – 2008 - PRODUCE, la cual en su artículo 3° estableció una veda temporal de macroalgas pardas: *Macrocystis pyrifera*, *Lessonia nigrescens* y *Lessonia trabeculata*, quedando prohibida la: “Extracción, recojo, coleta, acopio, transporte, comercialización y procesamiento de tales algas, a partir del tercer día de la publicación de la dicha Resolución Ministerial”. Asimismo, en la Resolución Ministerial N° 264 – 2009 - PRODUCE, en su artículo 1° dispone lo siguiente: “Suspender lo dispuesto en el artículo 3° de la Resolución Ministerial N° 839-2008-PRODUCE, para el litoral sur del Perú (Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna) y autorizar el recojo, colecta y acopio de especímenes varados de algas de los géneros *Macrocystis* y *Lessonia*, a partir del día siguiente de la publicación de la presente Resolución Ministerial.” Aunado a lo descrito, en su artículo 2°, expresa claramente que: “La actividad extractiva de las algas de los

géneros *Macrocystis* y *Lessonia*, por siega y/o remoción de especímenes en las praderas y bosques continúa prohibida en todo el litoral peruano”.

Por otra parte, con la finalidad de realizar un seguimiento oportuno del aprovechamiento de las macroalgas y lograr la trazabilidad de este recurso, en el 2016, mediante el Decreto Supremo N° 016 – 2016 – PRODUCE, el cual modifica algunos artículos del Reglamento de Ordenamiento Pesquero de Macroalgas Marinas (DS - N°019-2009-PRODUCE), se incorpora la utilización de certificados de procedencia para las macroalgas. Todo esto queda estipulado en el artículo 8, y numeral 8.5, del mencionado decreto supremo, el cual expresa lo siguiente: “La Dirección General de Supervisión y Fiscalización del PRODUCE, coordina con las dependencias de competencia pesquera regionales, el cumplimiento de las medidas de ordenamiento pesquero establecidas para las macroalgas, entre ellos emitir y remitir el certificado de procedencia que certifique el origen de las macroalgas de un área de aprovechamiento”. Asimismo, para el 2017, mediante la Resolución Ministerial N° 163- 2017 – PRODUCE, el cual aprueba el reglamento de fiscalización y sanción de las actividades pesqueras y acuícolas, menciona las infracciones generales y considera como infracción lo descrito en el inciso 112 de las infracciones relacionadas a las macroalgas, lo siguiente: “Recibir o procesar macroalgas sin el correspondiente certificado de procedencia emitida por la autoridad competente”. Todo lo descrito surge con la finalidad de realizar un seguimiento oportuno y obtener datos reales que permitan un buen manejo de las macroalgas.

Finalmente, otras medidas que permiten el manejo de macroalgas son las evaluaciones realizadas por el Instituto del Mar del Perú, la rotación de las áreas de aprovechamiento en la zona de extracción y colecta. Sin embargo, todas estas medidas tomadas aún son insuficientes para lograr correcto manejo de las praderas algales. En consecuencia, aún existe la necesidad de generar información técnica poblacional que permita el aprovechamiento sostenible del recurso macroalga y de la actividad pesquera.

2.4.3.- Usos y aplicaciones

Con el tiempo, *Macrocystis pyrifera*, ha logrado tener diferentes usos y cada vez se logran descubrir nuevas formas de realizar el aprovechamiento del mismo. En la primera guerra mundial se usó como fuente de potasa para fertilizantes y explosivos (Cruz-Suárez *et al.* 2000). En California, se usa en la industria del alginato, con poco uso en forma de harina y también como alga deshidrata para consumo animal (Cruz-Suárez *et al.* 2000). Por otro

parte, se usa en nutrición de organismos acuáticos como parte importante en la elaboración de alimentos extruidos para el erizo de mar *Loxechinus albus* (Lawrence *et al.* 1997); en alimentos para abulón *Haliotis spp.* y como suplemento alimenticio en la industria de salmónera (Mansilla *et al.* 2005, Plana *et al.* 2007 y Cruz-Suárez *et al.* 2000). Todos estos usos se deben a que *Macrocystis* es una macroalga que tiene una baja cantidad de calorías, una alta concentración de minerales (Mg, Ca, P, K y I), vitaminas, proteínas, fibra y bajo contenido en lípidos. De otro lado, la calidad de sus proteínas y lípidos son aceptables en comparación con otras fuentes vegetales, debido a su alto contenido en aminoácidos esenciales y a sus valores de ácidos grasos insaturados (Jiménez-Escrig *et al.* 1999).

En la última década, se han descubierto nuevos usos para el alginato: Incrementa el rendimiento en las baterías de litio (Kovalenko *et al.* 2011), es un buen ingrediente en productos de comida “saludable” (Prabhasankar *et al.* 2009) o como extractos para aplicaciones agronómicas (Carigie, 2011). Todas estas nuevas aplicaciones, van incrementando la presión sobre los stocks naturales de macroalgas pardas del mundo, incluyendo las costas sudamericanas (peruanas y chilenas) (Buschmann *et al.* 2014).

2.5.- Importancia Ecológica de *Macrocystis* en el medio ambiente

Los bosques de *Macrocystis* tienen una gran importancia ecológica debido a que son hábitat, refugio y alimento para una gran diversidad de invertebrados marinos y peces. Son de vital importancia para las comunidades bentónicas y sirven como sustrato para el reclutamiento y asentamiento de otras especies de algas. Por todo ello es considerada como especie clave para la coexistencia de otros organismos (Plana *et al.* 2007). Las estructuras vegetativas de las macroalgas pueden ser útiles para los peces de diferentes maneras: Como alimento (o sitios de alimentación) o como refugio frente a los predadores. Los peces y otros organismos pueden usar las mismas estructuras vegetativas de un alga para diferentes propósitos. Ellos pueden dividir sus actividades entre los diferentes componentes de las algas, por ejemplo: Las frondas pueden ser usadas para refugio o abrigo y los discos de fijación como sitios de alimentación (Steneck *et al.*, 2002; Christie *et al.*, 2007 y Pérez-Matus y Shima, 2010)

Las praderas o bosques de macroalgas pardas modifican físicamente su entorno, debido a que impiden el paso de la luz hacia el fondo, disminuyen el flujo del oleaje, alteran las tasas de sedimentación y estabilizan el fondo marino (Carbajal, 2013). Asimismo, tienen

un rol muy importante como productores primarios; también favorecen a que grandes cantidades de carbono sean fijados en el ecosistema y utilizan para su crecimiento grandes cantidades de nitrógeno y fósforo (Salvarría, 2014). Por otro lado, los discos de fijación pueden ser empleados como indicadores en el monitoreo del efecto de perturbadores naturales de escala local y regional (Ejm: El Niño), debido a que albergan muchas especies bentónicas y constituyen estructuras delimitadas (Carbajal, 2013).

Debido a diversos factores abióticos como el oleaje, la dinámica de las corrientes marinas, la baja concentración de nutrientes, las altas temperaturas, entre otros, los bosques de macroalgas y especialmente de *Macrocystis pyrifera* se ven afectados de manera que producen una pérdida de fronda o de canopia de los esporofitos (Schiel y Foster 2015). Esta pérdida de fronda aunado a la dinámica de las corrientes marinas hace posible que se formen balsas flotantes y estas sean transportadas hacia aguas oceánicas (Macaya y Thiel, 2008). Este mecanismo de dispersión de *Macrocystis pyrifera* es aprovechada por el pez volador *Cypselurus heterurus* (IMARPE, 2008) el cual se acerca a la costa en épocas de desove (noviembre a febrero) y le permite desovar en estas balsas flotantes (Salvarría, 2014). Con ello, se cumple un rol importante en el proceso reproductivo de esta especie, el cual se verá reflejado en la pesquería artesanal de este recurso.

2.6.- Oceanografía del Mar Peruano

Las masas de agua que predominan frente a la costa de Perú son una mezcla débil de varios tipos de agua con diferentes rangos de temperatura y salinidad (Urquiza *et al.*, 1987; Strub *et al.*, 1998). Estos tipos de aguas son: De la región ecuatorial, en el extremo norte; de la región subtropical en el lado suroeste; de la región sub-antártica (borde norte), y de la región antártica, en el lado sur. Estos tipos de agua penetran en la región marítima del Perú, por medio de flujos horizontales orientados hacia los polos y hacia el Ecuador, y acompañados de una mezcla horizontal a gran escala (Zuta y Guillén 1970). En consecuencia, Perú es un área de afloramiento fuerte, altamente productiva, la cual está dominada generalmente por agua costera fría (Swartzman *et al.* 2008).

Las aguas costeras peruanas se pueden clasificar de la siguiente manera (Zuta y Guillén 1970):

- Aguas Tropicales Superficiales (ATS), con Salinidad menor a 33.8 ‰
- Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), con salinidad entre 33.8 – 34.8 ‰
- Aguas Costeras Frías (ACF), con salinidad entre 34.8 – 35.1 ‰

- Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), con salinidad mayor a 35.1‰

Por lo general, las Aguas Tropicales Superficiales (ATS), se presentan al norte de los 4°S y en casos excepcionales (cuando ocurre un fenómeno “El Niño”) pueden alcanzar varios grados hacia el sur. Estas aguas poseen una capa superficial homotérmica y homosalina de hasta los 20 metros de espesor, la cual se sitúa por encima de una intensa termoclina superficial permanente (Zuta y Guillén 1970). Por otro lado, las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), se ubican al norte de los 6°S, donde tienen una gran intensidad en los meses de primavera y verano. Al igual que las ATS, las AES también presentan aproximadamente una capa superficial homotérmica y homosalina alrededor de los 20 metros de espesor, situada por encima de la intensa termoclina superficial permanente, que generalmente se va debilitando hacia abajo y hacia el oeste de los 83°W, como resultado del efecto de las Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS) de la corriente Cromwell. Las fluctuaciones geográficas de las AES están muy relacionadas con los desplazamientos del “frente ecuatorial”, los cuales son desplazamientos más al norte en las estaciones de otoño e invierno, como resultado del efecto del flujo intenso de la Corriente Costera Peruana, aunado al afloramiento que ocurre entre los 4 – 6°S (Zuta y Guillén 1970). En el caso de las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), estas se expanden en gran parte de la costa peruana, presentando notables fluctuaciones hacia la costa en todas las estaciones del año: Frente a Supe y Pisco en el verano e invierno, y frente a Chimbote y Callao en el otoño y primavera. Estas aguas presentan grandes variaciones térmicas del verano al invierno (Zuta y Guillén 1970). Finalmente las Aguas Costeras Frías (ACF), son el resultado del afloramiento y la mezcla, lo que produce que sean aguas muy ricas en nutrientes (en comparación con las ATS y las ASS, que son aguas muy pobres en nutrientes) y son consideradas como un “tipo de agua” (Zuta y Guillén 1970). Por otra parte, Morón (2011), clasifica a las ACF a las aguas que tienen concentraciones entre 34.8 – 35 ups, asociadas más al afloramiento costero; y a las masas de agua que tienen salinidades entre 35 – 35.1 ups, las define como aguas que son producto de las mezclas de ACF y ASS, en la zona centro sur y la mezcla entre las ASS y AES en la zona norte.

2.6.1.- Propiedades físicas y químicas del Mar Peruano

En cuanto a las propiedades físicas y químicas del agua de mar se pueden agrupar en propiedades conservativas (temperatura y salinidad) y las no conservativas (oxígeno,

fosfato, silicato, nitrato, nitrito, etc.), las cuales están en función a los cambios producidos por los fenómenos atmosféricos y los procesos químicos y bioquímicos. En las masas de agua de mar, están presentes dos grupos de constituyentes generales: Los Macroconstituyentes, entre los que tenemos al oxígeno, cloro, carbono y silicio; y los Microconstituyentes, los cuales los más importantes son el nitrógeno y el fósforo (Zuta y Guillén 1970).

2.6.1.1.- Salinidad

La salinidad es un parámetro conservativo que se mide en unidades prácticas de salinidad (ups), el cual unido a la temperatura determinan la densidad del agua de mar. La salinidad tiene una gran influencia en los movimientos verticales y en los cambios químicos y biológicos de la columna de agua, los cuales finalmente son de gran importancia en la distribución y concentración de especies marinas (Stoens 1999, Eldin *et al.* 1997 citados por Morón 2011). Gracias a las características conservativas de la salinidad, esta puede servir como un delimitador de las diversas masas de agua. Debido a que está sujeta a la evaporación, a la descarga de los ríos en zonas costeras, la salinidad deja de ser conservativa en la superficie del mar; sin embargo esta mantiene sus características de origen en la formación de las aguas (Morón 2011).

Por lo general, las salinidades máximas se ubican en la superficie del mar, pero no siempre la salinidad disminuye con la profundidad, esto debido al afloramiento costero que produce cambios en la distribución vertical de la salinidad, originando una capa de mezcla, donde aparece un mínimo de salinidad. Otro factor a considerar son los fenómenos anormales como “El Niño”, el cual afecta notablemente la distribución vertical de la capa superficial (Zuta y Guillén 1970). En el Callao, no se observan grandes variaciones estacionales, debido a que las aguas con salinidades mayores a 35.1‰, ocurren entre Julio y Agosto, periodo en el cual las ASS (Aguas subtropicales superficiales) se desplazan hacia el norte junto con el anticiclón. En los meses de Marzo a Abril y de Setiembre a Enero, no se presentan grandes variaciones en la salinidad, es más homogénea en toda la columna.

2.6.1.2.- Temperatura

La temperatura es una propiedad física del agua de mar, la cual tiene mucha influencia sobre varios procesos físicos, químicos, geoquímicos y biológicos. La temperatura del océano, disminuye conforme aumenta la profundidad, en un perfil de temperatura vs

profundidad se observa una capa de mezcla superficial, la cual está influenciada por los vientos superficiales. Debajo de esta capa, existe una zona de cambios bruscos de temperatura llamada “Termoclina”, la cual tiene como principal característica una variación estacional, que le permite ser más pronunciada en verano (capa de mezcla caliente) y ser débil en invierno (capa de mezcla fría). La termoclina, actúa como una barrera de densidad a la circulación vertical, sobre ella se encuentra aguas cálidas superficiales de baja densidad y por debajo de ella se encuentran aguas frías y densas (Carbajal 2004). Asimismo, existe una gran gradiente zonal frente a la costa peruana, la cual está relacionada con el afloramiento costero y lleva aguas frías hacia la superficie (Zuta y Guillén 1970).

2.6.1.3.- Nutrientes

Los nutrientes son compuestos esenciales importantes en la síntesis orgánica del mar, del cual depende la vida en los ambientes marinos. Son comúnmente llamadas “Sales nutritivas” y su concentración aumenta conforme aumenta la profundidad, esto debido a que en la capa superficial los nutrientes son aprovechados por la fotosíntesis y el crecimiento del fitoplancton. Los nutrientes se regeneran a partir de la descomposición de la materia orgánica y de los cadáveres en descomposición, principalmente en las zonas de afloramiento, lugar donde la renovación es más intensa. Entre los principales nutrientes tenemos a los nitratos, silicatos y fosfatos (Morón 2000).

✓ Fosfatos

En las aguas costeras del Perú, se encuentran valores elevados de fosfatos, esto debido al transporte de aguas de mezcla y al afloramiento costero asociado con los vientos alisios. Los valores bajos de fosfatos, están asociados a las ASS (Aguas Subtropicales Superficiales) y a las AES (Aguas Ecuatoriales Superficiales). En Callao, la isolínea de 2.5 ug-at/L presenta grandes cambios estacionales, donde se observa un mayor acercamiento a la superficie en los meses de Julio, Setiembre y Diciembre, y un mayor alejamiento de la superficie en los meses de Enero a Febrero y de Octubre a Noviembre (Zuta y Guillén 1970). En invierno el afloramiento se intensifica y los valores de los fosfatos aumentan, reportándose valores por encima de los 2ug-at/L en las zonas costeras, mientras que la isolínea de 1 ug-at/L se aleja de la costa (Morón 2000). Las especies fitoplanctónicas son las que aprovechan de manera directa el fosfato inorgánico presente en el medio exterior (Strickland 1965 citado por Zuta y Guillén 1970).

✓ Silicatos

Las concentraciones de silicatos están relacionadas con el afloramiento y a la presencia de ciertas masas de agua. Son relativamente bajas en la superficie y van aumentando conforme incrementa la profundidad. En las áreas de afloramiento de Perú, encontramos valores por encima de los 20 ug-at/L y los valores mínimos, de hasta 4 ug-at/L, los encontramos en el centro de los anticiclones. Frente a la costa peruana, se observa que los valores disminuyen conforme se alejan de la costa y aumentan en las partes costeras, frente a Salaverry – Chimbote (>15 ug-at/L) y frente a Cerro Azul – San Juan (>10 ug-at/L). Por otro lado, las concentraciones menores de 5ug-at/L, están asociadas a las ASS y a las AES (Zuta y Guillén 1970). En verano, se observa un promedio bajo en las concentraciones superficiales, el promedio estacional alcanza un valor de 10 ug-at/L en zonas costeras asociadas a los afloramientos. En invierno, los promedios de concentración son relativamente altas, alcanzando valores de hasta 25 ug-at/L en la zona costera (Morón 2000). Los silicatos son usados en grandes cantidades principalmente por las diatomeas, las cuales son importantes productoras primarias de materia orgánica y separan al silicato del nitrógeno y el fosfato. Por otro lado, también son de gran importancia para las algas, silicoflagelados, radiolarios y ciertas clases de esponjas (Morón 2000).

✓ Nitratos

Frente a la costa peruana, los valores de nitratos están en el rango de 0.5 a 20 ug-at/L hasta las 50 millas fuera de la costa y pasado ese límite los valores disminuyen hasta llegar a valores cercanos a cero. Las áreas de mayor concentración de nitratos, coinciden con las áreas de afloramiento, una frente a Pacasmayo y la otra frente a Ático, presentando valores por encima de los 15 ug-at/L. Los valores entre 10 y 15 ug-at/L son considerados pertenecientes a aguas recientes de afloramiento. Finalmente los valores máximos promedio proceden del sur hacia el norte, cerca al lado costero y dentro de las 60 primeras millas. Se observa una máxima capa superficial hacia el norte de los 7°S y otra al oeste de los 80°W frente al Callao (Zuta y Guillén 1970).

Por otro lado, un intercambio balanceado de nitrógeno entre los organismos acuáticos y su medio, es fundamental, para que continúe la vida en el mar. En ese sentido, el amónico es un compuesto de nitrógeno reducido presente (35%) en el total de los compuestos nitrogenados de los océanos, el cual es producido por la asimilación del nitrógeno por las

plantas o bacterias marinas. Al oxidarse el amoníaco, forma los nitritos y nitratos y a este proceso se le llama nitrificación.

✓ Nitritos

Frente a la costa peruana, las concentraciones de nitritos disminuyen conforme se alejan de la costa, reportándose valores en un rango de 0.1 – 1.6 ug-at/L, dentro de las primeras 50 millas. Frente a Salaverry – Callao se observa una notable gradiente zonal dentro de las 60 millas. Por otro lado, las aguas costeras presentan valores por encima de 1 ug-at/L entre las latitudes 9° -12°S y con un valor ligeramente mayor a 1.5 ug-at/L frente a Chimbote. Las ASS y las AES presentan valores menores de 0.25 ug-at/L. En la superficie del mar, aparecen los valores más altos de concentraciones de nitrito, cerca de la costa, reportándose el valor más alto en el invierno y el valor más bajo (muy cercano a cero) en el verano (Zuta y Guillén 1970).

Por otro lado, el nitrito también es una fuente disponible de nitrógeno, el cual es aprovechado por las poblaciones fitoplanctónicas. El nitrito es un estado intermedio entre el amoníaco y el nitrato, y su concentración puede servir como indicador de la inestabilidad del sistema. Dicha concentración es pequeña en comparación con los nitratos y relativamente menor en comparación con el amoníaco. La formación de los nitritos puede originarse por la oxidación del amoníaco o por la reducción del nitrato. Su distribución vertical, está influenciada por la excreción de nitritos por parte del fitoplancton y esto ocurre de manera intensa cuando las células deficientes de nitrógeno, se encuentran en exceso de nitratos y ante poca intensidad de luz (Zuta y Guillén 1970).

2.7.- Análisis Estadístico

2.7.1.- Pruebas Paramétricas

Las pruebas paramétricas, son más eficientes y sensibles, tienen menos posibilidad de error y sus estimaciones son más exactas. Entre las características comunes de las pruebas paramétricas, tenemos:

- Existe independencia de las observaciones a excepción de los datos pareados.
- Las observaciones, para las variables dependientes, se obtienen de manera aleatoria de una población con distribución normal.
- La variable dependiente es medida al menos en una escala de intervalo.
- El tamaño mínimo de una muestra es de 30 sujetos por grupo.
- Los datos obtenidos provienen de poblaciones que tienen varianzas iguales.

Las posibles desventajas de las pruebas paramétricas son las limitaciones en los tipos de datos que se logran evaluar y que son más difíciles de calcular (Gutiérrez y de la Vara 2008).

✓ Análisis de la varianza (ANOVA)

El análisis de la varianza es la prueba paramétrica más empleada para verificar si dos o más medias muestrales proceden de una misma población. El interés está centrado en comparar tratamientos en cuanto a sus medias poblacionales. La hipótesis fundamental cuando se comparan varios tratamientos es:

$$H_o = \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_k = \mu$$

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j ; \text{para algún } i \neq j$$

Con lo que se quiere expresar, es que, si los tratamientos son iguales estadísticamente en cuanto a sus medias, frente a la alternativa de que al menos dos de ellos son diferentes (Gutiérrez y de la Vara, 2008). Estas comparaciones se hacen en base a un diseño completamente al azar (DCA), el cual solo considera dos fuentes de variabilidad: El que proviene de los tratamientos y el que proviene del error aleatorio. Cuando la variabilidad de los tratamientos predomina sobre la variabilidad de los errores, quiere decir que los tratamientos tienen efecto significativo, o que las medias difieren entre sí. Mientras que cuando la variabilidad de los tratamientos no predomina o contribuyen de igual o menos forma que la variabilidad del error, entonces se concluye que las medias son iguales (Gutiérrez y de la Vara 2008).

Para probar la hipótesis mencionada, (que si los tratamientos son iguales estadísticamente en cuanto a sus medias), mediante el ANOVA, primero se debe descomponer la variabilidad total de los datos en sus componentes (de los tratamientos y del error). Toda esta información detallada, de cómo descomponer la variabilidad de los datos y calcular un estadístico que permita probar la hipótesis mencionada, se resume en la Tabla de análisis de la varianza (ANOVA), la cual se muestra en la tabla 2:

Tabla 2. Tabla de Análisis de Varianza (ANOVA)

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fo	P - Valor
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

Cualquier resultado obtenido en cualquier análisis de la varianza queda supeditado a que se cumplan los supuestos del modelo. Estos supuestos son:

- La distribución de la población original debe tener una distribución Normal
- Sus varianzas deben ser iguales.
- Las muestras deben ser aleatorias e independientes

2.7.2.- Pruebas No Paramétricas

Las pruebas no paramétricas, tienen una aplicación más general, ya que no exigen ningún tipo de condición sobre el tipo de distribución. Dentro de las pruebas no paramétricas existen 3 grandes grupos de contraste:

- ✓ Bondad de ajuste, la cual comprueba si las observaciones de una variable se ajustan a un tipo de distribución teórica esperada.
- ✓ Contraste de homogeneidad de muestras, la cual consiste en la comprobación de que si dos o más muestras pertenecen a una misma población.
- ✓ Independencia de variables, la cual determina si dos variables son independientes o no.

De los grupos de contraste mencionados, el contraste de homogeneidad de muestras contiene a la prueba de Kruskal-Wallis, la cual es la alternativa no paramétrica al test ANOVA de una vía para datos no pareados (Guisande *et al* 2006).

- ✓ Kruskal - Wallis

Este test emplea rangos para contrastar la hipótesis de que “k” muestras han sido obtenidas de una misma población. Bajo ciertas consideraciones Kruskal – Wallis compara las medianas y utiliza la siguiente hipótesis (Ho):

- Ho: Todas las muestras provienen de una misma población.
- Ha: Al menos una muestra no proviene de la misma población.

Este test es adecuado cuando los datos tienen un orden natural. Para realizar la prueba de Kruskal – Wallis, es necesario que se cumplan algunas condiciones, las cuales se detallan a continuación:

- Kruskal – Wallis no exige que las muestras provengan de una distribución normal
- Es necesario que todos los grupos tengan la misma varianza, para ello se necesita comprobarlo mediante el Test de Levene o Bartlett.
- Todos los grupos seleccionados, provengan o tengan un mismo tipo de distribución.

Si todos los requerimientos mencionados se cumplen, se asume que el estadístico H de Kruskal – Wallis sigue una distribución X^2 con K-1 grados de libertad (siendo k el número de grupos a comparar) (Universidad de Alcalá 2005). En el caso de que Kruskal-Wallis salga significativo, esto implicaría que al menos dos grupos de todos los grupos comparados son significativamente diferentes entre sí, pero esto no indica que grupos son los que difieren entre sí. Por ende, es necesario que se comparen todos entre sí, lo cual implicaría utilizar comparaciones post-hoc, para conocer finalmente cuales son los grupos que difieren entre sí.

2.7.3- Análisis de Correlación

Un análisis de correlación utiliza métodos, los cuales miden la significancia del grado de asociación entre dos o más variables. Por lo general, la variable independiente X es usualmente fija y la variable dependiente Y es aleatoria. Si ambas variables aleatorias, interactúan sobre una misma unidad o elemento de una población, sería importante conocer el grado en que estas variables interactúan o covarian de manera positiva o negativa. La correlación está muy vinculado al concepto de regresión, debido a que la validez o significancia de una regresión se cuantifica mediante el coeficiente de correlación, el cual debe tener:

- Un valor cercano a 1 (+1 o -1), cuando tiene un grado de asociación alto, es decir, con correlación positiva (+1) o correlación negativa (-1).
- Independencia de las unidades, en que se miden las variables.

Cabe mencionar que, no siempre un coeficiente de correlación alto implica causalidad entre las variables estudiadas. Dos o más variables pueden estar muy relacionadas sin que necesariamente una sea causa de la otra (Mendiburu 2005).

2.7.4- Modelo aditivo generalizado (GAM)

Los modelos aditivos generalizados (GAM), se definen como un método semi-paramétrico que soporta la falta de normalidad en los datos, y que utiliza funciones suavizadas que permiten relacionar variables ambientales y bióticas (Swartzman 1997). Fueron propuestos por Hastie y Tibshirani (1986, 1990), y son una extensión de los modelos de regresión lineal múltiple y de los modelos aditivos en general (Cabrero y García 2015). Estos modelos incorporan la no linealidad de los parámetros y pueden trabajar con datos no – paramétricos. Una regresión lineal múltiple, explica la media de la variable respuesta Y, en función de K covariables de forma lineal:

$$E[Y | X] = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k.$$

Mientras que los modelos aditivos generalizados permiten que las covariables X_i , tengan una funcionalidad más general que la regresión lineal múltiple, mediante el uso de funciones h_i , pero siempre manteniendo la linealidad en el modelo:

$$E[Y | X] = h_0 + h_1(X_1) + \dots + h_k(X_k).$$

La incorporación de las funciones h_i , permite la flexibilidad del modelo y la capacidad de adaptación a datos complejos, los cuales no siempre presenten una estricta linealidad en las covariables (Cabrero y García 2015). Los modelos aditivos generalizados, deben verificar los siguientes supuestos:

- Normalidad de los residuos
- Independencia de los residuos
- Homocedasticidad
- No colinealidad entre covariables

Sin embargo, los modelos aditivos generalizados (GAM) al generalizar todos los modelos lineales existentes (múltiples, generalizados) permiten que la variable respuesta Y (la cual es condicionada por las X_i) tenga una distribución más general que la normal, permitiéndole trabajar con datos que no necesariamente se ajusten a una distribución normal, como es el caso de las distribuciones que pertenecen a la familia de tipo

exponencial: Poisson, Binomial, Gamma, Beta (Cabrero y García 2015). En consecuencia, un GAM será específico cuando se defina el tipo de familia exponencial. Asimismo para cada tipo de familia exponencial existe una función link natural o canónica, la cual iguala al parámetro natural con el predictor lineal. Debido a ello, se obtiene tres tipos de funciones link:

- ✓ La función link “identidad”: $g(\mu) = \mu$
- ✓ La función Link “logaritmo” o simplemente “log”: $g(\mu) = \log \mu$
- ✓ La función link “logit”: $g(\mu) = \log(\mu/(1-\mu))$.

Las cuales son las funciones link naturales o canónicas de los modelos: Normal, Poisson y binomial, respectivamente. También existen otras funciones link, como son:

- ✓ La función link “inversa”: $g(\mu) = -1/\mu$
- ✓ La función link “gaussiana-inversa”: $g(\mu) = -2/\mu^2$

Las cuales son funciones link canónicas de los modelos: gamma y gaussiano-inverso respectivamente.

III.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- Zona de Estudio

El presente estudio se realizó en la isla San Lorenzo, ubicada frente al Callao, Lima (ver figura 9), desde mayo - 2015 hasta agosto - 2016. San Lorenzo tiene ocho kilómetros de largo por dos kilómetros de ancho, una altitud máxima de 396m, y tiene una superficie de 16,48 km², convirtiéndola así en la isla más grande del Perú (Palacios *et al.* 1992, Pérez *et al.* 2015).

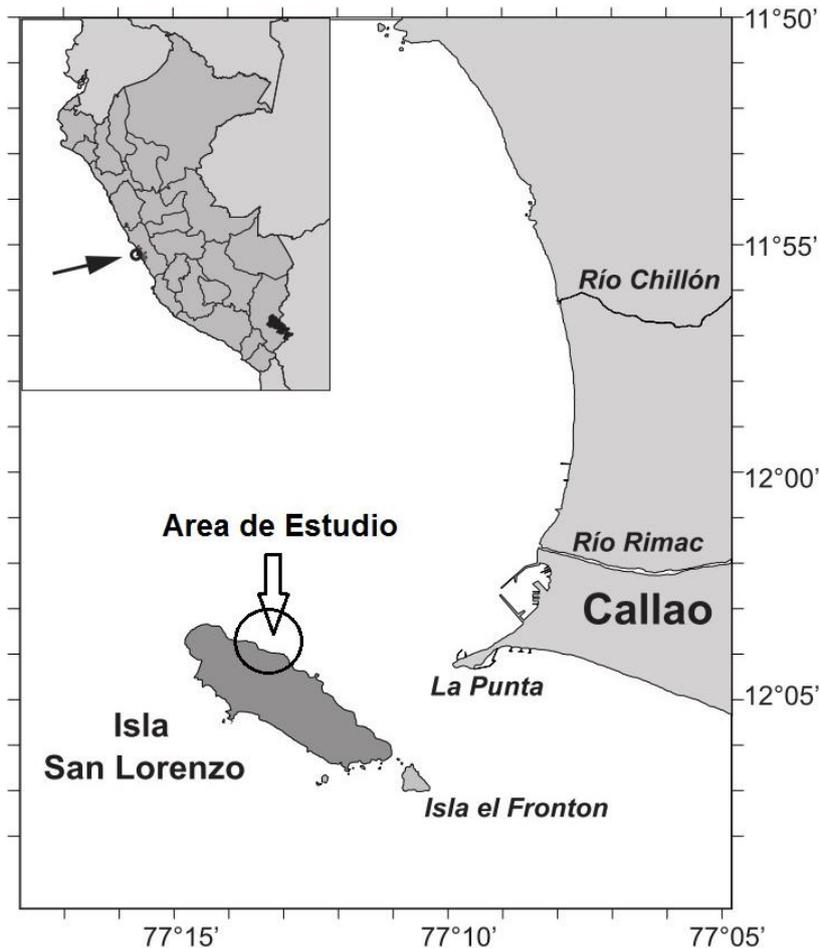


Figura 9. Ubicación del área de estudio.

Tomado y Modificado de Pérez *et al.* 2015

El área de estudio se ubicó en la parte oeste de la isla ($12^{\circ}04'04.1''$ S - $77^{\circ}13'29.3''$ W, ver Anexo 2A) en una pradera submareal de *Macrocystis pyrifera* ubicada a cinco metros de profundidad (ver anexo 2B), caracterizada por tener diferentes tipos de sustratos, entre los cuales predominan las plataformas rocosas, donde se fijan mayormente los individuos de *Macrocystis pyrifera* (ver anexo 2C). También se observaron bloques rocosos, canto

rodado y zonas de arena con conchuela, todas ellas alternadas alrededor de las plataformas rocosas. Por lo general, la claridad del agua de mar en el área de estudio, estuvo entre los uno y tres metros de profundidad.

3.2.- Metodología en campo

Las evaluaciones de campo, fueron realizadas mediante buceo semiautónomo con la ayuda de una embarcación artesanal. Se realizaron salidas de campo, cada 4 – 8 semanas en la zona de estudio (aproximadamente 15 meses), con la finalidad de evaluar el crecimiento de *Macrocystis pyrifera* a través del marcaje y seguimiento de los esporofitos, así como registrar algunas variables oceanográficas. Previamente a cada salida a campo, se constató que el área de estudio reuniera las condiciones ambientales óptimas (vientos, corrientes, etc.), con la finalidad de que la salida de campo se realice de manera adecuada y sin contratiempos. Todos los datos referidos a las condiciones marinas, fueron recolectados del servicio de predicción del tiempo, de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN), los cuales están disponibles en: <https://www.dhn.mil.pe/oceanografia>

3.2.1- Información requerida

Con la finalidad de comprender parte de la dinámica del oleaje y su influencia sobre los esporofitos, se realizó un seguimiento diario a las condiciones marinas referidas al oleaje (altura de ola de mar (m)), a los que estuvieron sometidos los esporofitos durante todo el periodo de estudio. Adicionalmente, se recolectó información histórica diaria de la temperatura superficial del mar (°C) de los últimos 30 años (climatología), de la base oceanográfica del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), la cual está ubicada en el distrito de La Punta (muy próxima a la zona de estudio), esto con la finalidad de comparar la temperatura superficial del mar (°C) registrada en el periodo de estudio con la temperatura promedio de los últimos 30 años. Todos los datos referidos al oleaje, fueron recolectados del servicio de predicción del tiempo, de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN), los cuales están disponibles en: <http://www.naylamp.dhn.mil.pe/dhn2/secciones/Pronosticos/costeroprocailao.php>

3.2.2- Marcaje y monitoreo de esporofitos

En primer lugar, se identificaron plataformas rocosas con la presencia de esporofitos juveniles y adultos de *Macrocystis pyrifera*. Luego se procedió al marcado de los

esporofitos de diferentes tamaños, para lo cual, en el caso de los esporofitos juveniles, se empleó masilla epóxica y precintos numerados que fueron pegados encima de la masilla epóxica, al costado de cada base de cada esporofito (ver Anexo 3A y 3B). En el caso de los esporofitos adultos, se les marcó con precintos numerados que fueron colocados entre los hapterios o ramificaciones de los discos de fijación o base de los esporofitos (ver Anexo 3C). Una vez realizado el primer marcaje (mayo 2015), con la ayuda de una cinta métrica, se procedió a las mediciones de longitud total (LT, cm) y diámetro mayor del rizoide (DMR, cm), los cuales fueron anotados en tableros acrílicos con la ayuda de un lápiz de carbón (ver Anexo 3). Al término del proceso de registro de mediciones, se referenció la zona con la ayuda de un GPS, con la finalidad de ubicar rápidamente la pradera submareal en las posteriores evaluaciones.

El seguimiento a los esporofitos marcados se realizó cada 4 a 8 semanas, y durante mayo 2015 y agosto 2016 (aproximadamente 15 meses). En dichos seguimientos, se registró el número de esporofitos marcados presentes en la pradera, las mediciones de los esporofitos (DMR y LT) y se observó el estado de ellos, ya que en algunos casos estos se deterioraron y se desprendieron. En consecuencia, con la finalidad de mantener un número constante de esporofitos marcados, se procedió a una nueva búsqueda y marcado de esporofitos nuevos dentro de la misma pradera y en praderas muy próximas. En la tabla 3, se presenta el número de esporofitos que se marcó, por cada rango de tallas (LT), a lo largo del periodo de estudio:

Tabla 3. Número de esporofitos marcados de *Macrocystis pyrifera* por cada rango de tallas.

Rango de tallas (cm)	Marcaje				
	N° 1 Mayo 2015 # Ind.	N° 2 Junio 2015 # Ind.	N° 3 Setiembre 2015 # Ind.	N° 4 Febrero 2016 # Ind.	N° 5 Junio 2016 # Ind.
0 - 100	30	4	2	28	41
100 - 200	5	2	4	-	2
200 - 300	5	-	4	-	-
300 - 400	5	-	9	-	-
400 - 500	7	-	1	-	-
500 - 600	2	-	-	-	-
Total	54	6	20	28	43

3.2.3- Variables Oceanográficas

Durante las salidas de campo, se colectaron muestras de agua de mar utilizando una botella Niskin, la cual fue lanzada a cinco metros de profundidad, con la finalidad de registrar la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, nitratos ($\mu\text{ mol/l}$), nitritos ($\mu\text{ mol/l}$), silicatos ($\mu\text{ mol/l}$), fosfatos ($\mu\text{ mol/l}$) y salinidad (UPS). El registro de los parámetros temperatura y pH del agua de mar, se realizaron in situ, con la ayuda de un termómetro de mercurio y un potenciómetro HI-2211 marca Hanna, respectivamente. Para el resto de parámetros, se tomaron dos muestras de agua de mar en frascos de polietileno de 250 ml, una muestra utilizada para el análisis de la salinidad (Ups) y la otra para el análisis de nitratos, nitritos, silicatos y fosfatos ($\mu\text{ mol/l}$). Las muestras de agua, fueron colocadas en un cooler con hielo y trasladados al Laboratorio de Oceanografía Química del Instituto del Mar del Perú donde se realizó su análisis. Este procedimiento se realizó una vez cada 4 a 8 semanas en el área de estudio.

En laboratorio, para el análisis de fosfatos ($\mu\text{ mol/l}$), se usó el método de Murphy y Riley (1962), descrito por Strickland y Parsons (1968) el cual midió la formación del complejo fosfomolibdato y la reducción del mismo. En la determinación de silicatos ($\mu\text{ mol/l}$), este fue calculado mediante la producción del complejo silicomolibdato, según lo descrito por Mullin y Riley (1955) y modificado por Strickland y Parsons (1968). Por otro lado, para el análisis del nitrato ($\mu\text{ mol/l}$), se empleó la técnica espectrofotométrica UV-Visible, basado en el método de Strickland y Parson (1972). Para el caso del nitrito ($\mu\text{ mol/l}$), este dependió de la diazotación de un compuesto amino, basado en el método de Bendschneider y Robinson (1952). Finalmente, la salinidad (UPS), fue calculado directamente con la ayuda de un Salinómetro Guildline, modelo Portasal® 8410A.

3.3. Análisis y procesamiento de datos

3.3.1.- Número de esporofitos y oleaje

En primer lugar, se graficó el seguimiento al número de esporofitos marcados presentes en la pradera, de los cinco marcajes realizados, a lo largo del periodo de estudio. Asimismo, con el registro del seguimiento diario de las condiciones marinas referidas al oleaje (altura de ola de mar (m)), se obtuvo un promedio diario y se graficó estos valores en el tiempo. Cabe mencionar que los valores mencionados (número de esporofitos encontrados y altura de ola de mar (m)), fueron registrados, procesados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel y correlacionados mediante un análisis de correlación (Ac),

con la finalidad de explicar la influencia que tiene la dinámica del oleaje, sobre los esporofitos de *Macrocystis pyrifera*. Por otro lado, se graficó las tallas medias totales de cada mes y de los 5 marcajes realizados, para el LT y DMR, con la finalidad de modelar el comportamiento del crecimiento de los esporofitos.

3.3.2- Parámetros Oceanográficos

Después del análisis en laboratorio de las muestras de agua de mar, en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, se registró los valores obtenidos de los parámetros físicos y químicos, y se graficaron. Estos gráficos permitieron realizar un análisis detallado y observar el comportamiento en el tiempo, de cada uno de los parámetros oceanográficos: Temperatura (°C), salinidad (Ups), pH, nitratos (μ mol/l), nitritos (μ mol/l), silicatos (μ mol/l), fosfatos (μ mol/l).

3.3.3- Evaluación del crecimiento

El crecimiento de los esporofitos se evaluó mediante tres métodos bien definidos: La tasa de crecimiento (TC), el porcentaje diario de elongación (E) y la tasa estándar de crecimiento (G). La tasa de crecimiento (TC), está definida por la ecuación descrita por Hernández – Carmona (1988) y Sparre y Venema (1997), la cual se detalla a continuación:

$$TC = \frac{Lf - Li}{T'}$$

Donde:

- **TC** = Tasa de Crecimiento del diámetro mayor del rizoide (DMR) o de la longitud total de la fronda (LT), (cm/día).
- **Lf** = Longitud final del DMR o LT (cm/día).
- **Li** = Longitud inicial del DMR o LT (cm/día).
- **T'** = Tiempo transcurrido entre mediciones (días).

Por otro lado, el porcentaje diario de elongación (E), se utilizó para estimar el crecimiento de manera porcentual de los esporofitos, el cual utilizó la longitud final e inicial (DMR o LT) en función al tiempo. Este porcentaje diario de elongación (E), fue descrita por Norh (1971), y se detalla a continuación:

$$E = \left(\frac{Lf}{Li} \right)^{\left(\frac{1}{T'} \right)} - 1$$

Donde:

- **E** = Porcentaje diario de elongación del DMR o LT
- **Lf** = Longitud final del DMR o LT (cm/día).
- **Li** = Longitud inicial del DMR o LT (cm/día).
- **T'** = Tiempo transcurrido entre mediciones (días).

Asimismo, para comparar el crecimiento del DMR y LT a diferentes rangos de tallas, se utilizó una tasa estándar de crecimiento (G), el cual se obtiene al relacionar de manera lineal el logaritmo de base diez de la talla media versus el porcentaje diario de elongación. La intersección con el eje Y, que resulta de relacionar estas dos variables, representa el valor estándar de crecimiento (G). Esta ecuación fue descrita por North (1971) y se define como:

$$E = m * \text{Log}_{10}(TM) + G$$

Donde:

- **E** = Porcentaje de elongación diario (DMR o LT).
- **m** = Pendiente de la recta.
- **TM** = Talla media (DMR o LT)
- **G** = Intersección en el eje Y o tasa estándar de crecimiento.

Cabe mencionar que la talla media (TM), se calculó como la media aritmética para dos mediciones sucesivas, es decir, la primera medida con la segunda, la segunda con la tercera y así sucesivamente (Hernández – Carmona 1988). Asimismo, al relacionar el porcentaje de elongación diario con la talla media y el logaritmo de base diez de la talla media con el porcentaje diario de elongación, no se tomó en cuenta a los esporofitos que no presentaron crecimiento, es decir, cuando el DMR no creció y cuando los esporofitos sufrieron pérdida de fronda. Este criterio está en función a lo descrito por Hernández – Carmona (1988) y North (1971).

Para comparar y analizar el crecimiento de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera*, mediante las tasas de crecimiento (TC) y la tasa estándar de crecimiento (G), se necesitó agrupar los datos en tres grupos bien definidos: Grupo de esporofitos pequeños (DMR <10 cm y LT < 150 cm), esporofitos medianos (10 < DMR < 20 cm y 150 < LT < 300 cm) y esporofitos grandes (DMR>20 y LT > 300 cm). Cabe mencionar que todos estos cálculos descritos, fueron realizados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Por otro lado, se graficó el mejor ajuste resultante de relacionar el porcentaje de elongación diaria (DMR o LT) con la talla media (DMR o LT). Finalmente, a todos los grupos mencionados, se les reagrupó mensualmente y en el programa estadístico R Studio, se les aplicó estadística paramétrica (ANOVA), con la finalidad de evaluar si existen diferencias significativas entre las medias de todos los agrupamientos mensuales y en los casos donde no se cumplió con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se optó por realizar una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. En los casos donde se encontró diferencias significativas en las medianas, se aplicó el test de U Mann-Whitney o test de comparaciones en pares, con lo que se conoció a los grupos de tasas de crecimiento mensuales que difieren entre sí.

3.3.4- Efecto de los parámetros oceanográficos sobre el crecimiento

El efecto de los parámetros oceanográficos sobre el crecimiento del LT y DMR, se determinó mediante un modelo aditivo generalizado (GAM), el cual modeló las posibles relaciones existentes entre el crecimiento de los esporofitos (tasas de crecimiento o porcentaje de elongación diario), y los parámetros oceanográficos (temperatura (°C), salinidad (Ups), pH, nitratos (μ mol/l), nitritos (μ mol/l), silicatos (μ mol/l), fosfatos (μ mol/l), de acuerdo a la siguiente forma:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p f_j(x_j) + \varepsilon_i$$

Donde:

- Y_i = Tasa de crecimiento o porcentaje de elongación diario (LT o DMR)
- β_0 = Intercepto
- f_j = Función de suavizado de las covariables
- x_j = Covariables (Talla media y Parámetros oceanográficos)

- ε_i = Residuo o error

En primer lugar, para formular el modelo, se necesitó definir el tipo de distribución al cual se ajusta las variables que representan el crecimiento (LT y DMR), para ello, en el programa estadístico R Studio, se utilizó la función “descdist” del package: “fitdistrplus” (Delignette-Muller y Dutang 2015), el cual otorgó una idea del tipo de distribución de los datos (esto se verificará con el valor de curtosis de Fisher (k), el coeficiente de asimetría de Pearson (Ap) y mediante un histograma). Este paso fue muy útil al formular el modelo, ya que se debió especificar el tipo de distribución que tiene la variable respuesta. Luego, con la finalidad de evaluar la significancia (positiva o negativa) existente entre las tasas de crecimiento (DMR o LT) y los valores de los parámetros oceanográficos, se realizó un análisis de correlación (r), el cual está definido mediante el siguiente estadístico:

$$r = \frac{SPXY}{\sqrt{SCX \cdot SCY}}$$

Donde:

- X = Tasas de crecimiento del DMR o LT.
- Y = Valores de cada parámetro oceanográfico (temperatura (°C), salinidad (Ups), pH, nitratos (μ mol/l), nitritos (μ mol/l), silicatos (μ mol/l), fosfatos (μ mol/l)).

Asimismo:

- SPXY = Suma de productos de X e Y, la cual está definida por:

$$SPXY = \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$$

- SC(X) = Suma de cuadrados de X, definida por:

$$\sum (X_i - \bar{X})^2$$

- SC(Y) = Suma de cuadrados de Y, definida por:

$$\sum (Y_i - \bar{Y})^2$$

El análisis de correlación, tiene como finalidad identificar el grado de asociación o afinidad que tienen los parámetros oceanográficos sobre el crecimiento del LT y DMR. Asimismo, sirve para identificar la existencia de co-linealidad entre los parámetros oceanográficos, es decir, si existe algún tipo de relación lineal entre estas variables que puedan influir o sesgar el modelo. Cabe mencionar que este análisis, se hizo de manera independiente para las tasas de crecimiento del LT y para el porcentaje de elongación del DMR. Todo este proceso se realizó y grafico en el programa estadístico R Studio, utilizando la función “pairs.panels”, del package: “psych” (Revelle 2018).

En la elaboración del GAM, todas las tasas de crecimiento (LT), porcentajes de elongación diario (DMR) y tallas medias correspondientes, fueron agrupadas mensualmente y organizadas junto con los valores oceanográficos correspondientes obtenidos en cada mes. Todo esos datos fueron organizados en una hoja de Microsoft Excel y fueron subidos al programa estadístico R studio para la formulación del GAM. Cabe mencionar que los valores obtenidos mensualmente de los parámetros oceanográficos, al ser relacionados con las variables que representan el crecimiento, fueron repetidos un número de veces “N”, donde “N” es el número de valores que representan el crecimiento para el mes. Todos los cálculos del GAM, fueron realizados con la ayuda de los packages: “mgcv” (Wood 2016), “statmod” (Smyth *et al.* 2016), “tweedie” (Dunn, 2015), “car” (Fox y Weisberg 2011), “MASS” (Venables y Ripley 2002) y la función “gam”.

En la formulación del GAM, fue necesario reconocer y seleccionar solo a las variables oceanográficas que significativamente influyeron más sobre el crecimiento. Para ello, se utilizó el método de “Backward elimination” o “eliminación hacia atrás”, con lo cual se fue eliminando una a una las variables poco influyentes, con la finalidad de formular un modelo que represente mejor el crecimiento. Gracias a este método utilizado, solo se seleccionaron las variables que influyeron significativamente sobre el crecimiento y se obtuvieron sus respectivos coeficientes e intervalos de aplicación. Cabe mencionar que se formularon dos modelos aditivos generalizados, uno para el LT y otro para el DMR, los cuales utilizaron como variable respuesta a las tasas de crecimiento y al porcentaje de elongación, respectivamente, en función de la talla media y de los parámetros oceanográficos.

3.3.5- Ecuación teórica de crecimiento

Finalmente se formuló una ecuación teórica que representa el crecimiento del DMR, mediante una función exponencial, en la cual se relaciona las longitudes finales e iniciales del DMR y el tiempo transcurrido entre ambas mediciones. Esta ecuación teórica está basada en el trabajo realizado por Vázquez y Tala 1995, donde se describe una curva de crecimiento del DMR de otra kelp (*Lessonia nigrescens*). En la formulación de la ecuación teórica, se utilizó la función “nls” del programa estadístico R Studio y se parte de la siguiente expresión:

$$Y = \exp(a + b*X + c*t)$$

Donde:

- Y = Longitud final del DMR (cm).
- a, b y c = Coeficientes paramétricos
- X = Longitud inicial del DMR (cm).
- t = Tiempo transcurrido entre mediciones (días).

Al utilizar la función “nls”, con los datos de longitudes colectados en campo, se logró estimar los coeficientes “a, b y c”, los cuales permitieron estimar las longitudes finales teóricas del DMR. Para evaluar el grado de correlación entre las longitudes finales reales y teóricas del DMR, se realizó un análisis de correlación no paramétrica de Spearman entre ambas variables, para lo cual se utilizó la función “cor.test” del programa estadístico R Studio. Finalmente se graficó la relación lineal de ambas variables (DMR real y teórico).

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.- Número de esporofitos marcados y recuperados

En la figura 10 se muestra el registro del número de esporofitos marcados y recuperados a lo largo del periodo de estudio.

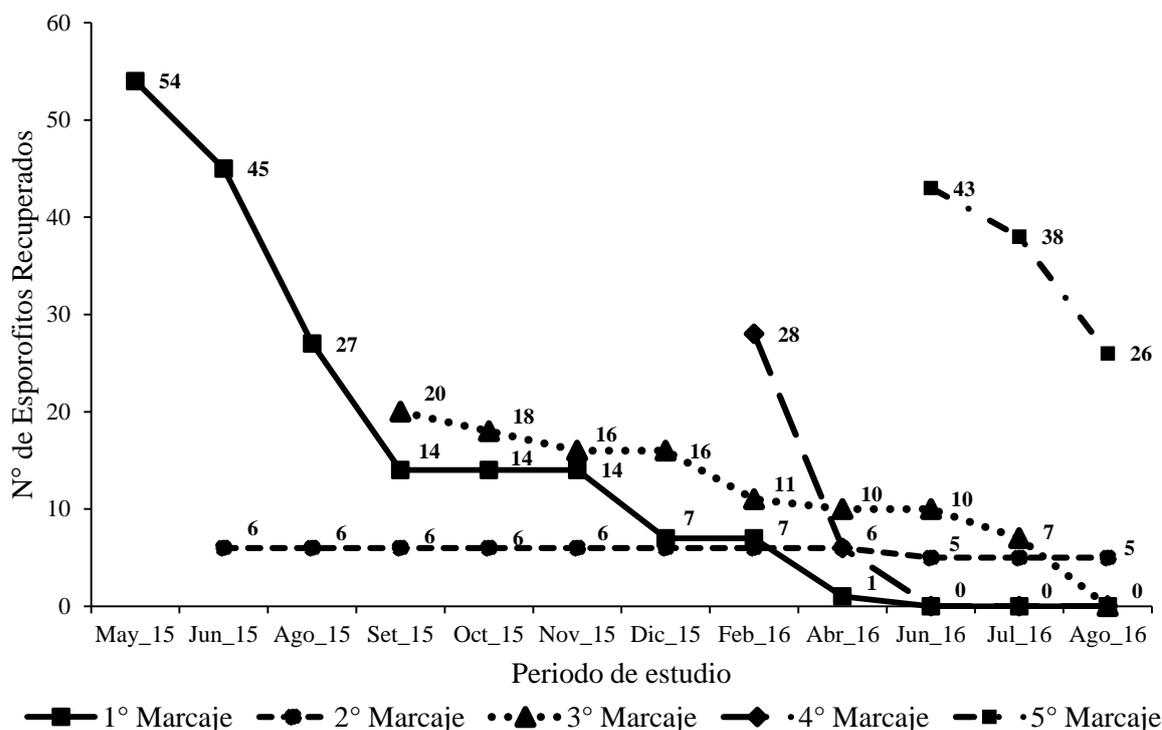


Figura 10. Numero de esporofitos marcados y recuperados en el tiempo.

A los tres meses de realizado el primer marcaje de esporofitos (agosto – 2015), el número de ejemplares recuperados se redujo a un 50% (27 esporofitos). Luego de ello, para noviembre del 2015, este marcaje se redujo a un 26% (14 esporofitos) y posteriormente fue disminuyendo, hasta que en abril del 2016, se registró solo un esporofito de aquel primer marcaje. En junio 2015, se realizó el segundo marcaje (6 esporofitos), el cual fue el más estable, en comparación con los demás marcajes, ya que estos esporofitos se mantuvieron presentes hasta finalizar el experimento (salvo por un ejemplar que se desprendió en junio 2016). Este comportamiento probablemente se deba a que estos esporofitos estuvieron ubicados en una zona más protegida de la pradera, en comparación con los demás esporofitos marcados, lo que presuntamente redujo la influencia del oleaje sobre estos esporofitos. En setiembre del 2015, se realizó el tercer marcaje (20 esporofitos), el cual fue disminuyendo de manera gradual hasta agosto del 2016, donde

no se registró ningún esporofito. Para febrero del 2016, se realizó el cuarto marcaje (20 esporofitos), el cual tuvo una drástica reducción, ya que para para abril del 2016, solo se registró a un 21% del total (6 esporofitos) y terminó por desaparecer en junio del 2016. Finalmente para junio del 2016, se realizó el quinto y último marcaje (43 esporofitos), el cual, dos meses después (agosto 2016), tuvo una reducción al 61 % (26 esporofitos).

En general, el número de esporofitos recuperados, en cada salida de campo, a lo largo del periodo de estudio, casi siempre tuvo una tendencia a disminuir. Esto probablemente se deba al efecto del oleaje (m), ya que de acuerdo a lo descrito por Norh (1971, 1977) y Hernández – Carmona (1988), un factor importante que regula la vitalidad y sobrevivencia de las poblaciones de *Macrocystis pyrifera*, es el fuerte oleaje, ya que es una de las principales causas de mortalidad de las poblaciones algales. Esta mortalidad se genera cuando el desprendimiento de una, al estar enredada con otra, genera un desprendimiento masivo. Por otro lado, en la figura 11 se muestra el registro del promedio diario de la altura de ola de mar (m) obtenida de la zona y a lo largo del periodo de estudio.

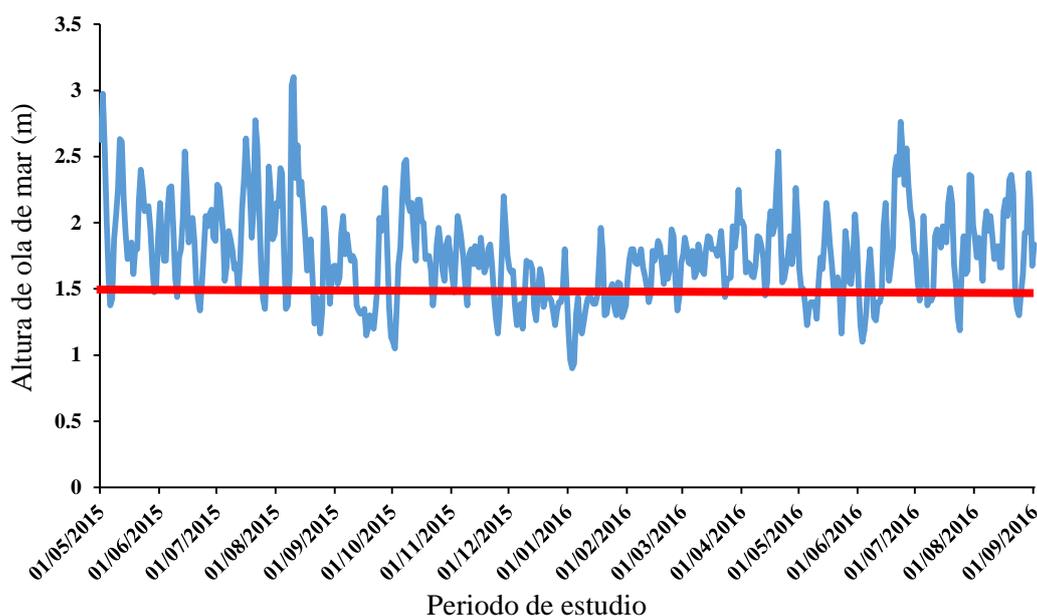


Figura 11. Registro del promedio diario de la altura de ola de mar (m) – línea celeste e inicio del oleaje anómalo (m) – línea roja, registrada en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016.

Según la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN), los oleajes anómalos (ligero, moderado, fuerte y muy fuerte), se caracterizan por presentar olas que superan los 1.5 metros de altura sobre el nivel del mar. En la figura 11, se observa

que de los 490 días que duro el experimento, 364 días (74%) se presentó oleajes anómalos en la zona de estudio. Todos estos oleajes anómalos, en algunas ocasiones alcanzaron los 3.8 metros de altura, lo cual generaron un impacto negativo sobre los esporofitos marcados, al ocasionarles perdidas de fronda y en otros casos lograr desprenderlos. Esta hipótesis, está respaldada estadísticamente al correlacionar el número de esporofitos recuperados en el tiempo, con el promedio de la altura de ola de mar (m) registrada durante los meses de estudio ($Ac = 0.62$). Todo lo mencionado anteriormente, concuerda con lo descrito por North (1971) y Hernández-Carmona (1988), respecto a la sobrevivencia de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera*. Cabe mencionar que no solo el oleaje influye en el desprendimiento de los esporofitos, ya que la vitalidad y sobrevivencia de estos, también están en función de su condición biológica (fisiología interna), la cual está en función de las condiciones oceanográficas (temperatura y concentraciones de nutrientes), presentes en el medio marino (Hernández-Carmona, 1988). Esto último, será explicado en los próximos capítulos.

4.2.- Variación de los parámetros oceanográficos

4.2.1.- Temperatura

La temperatura del agua de mar (°C), registrada en las salidas de campo, se muestra en la figura 12:

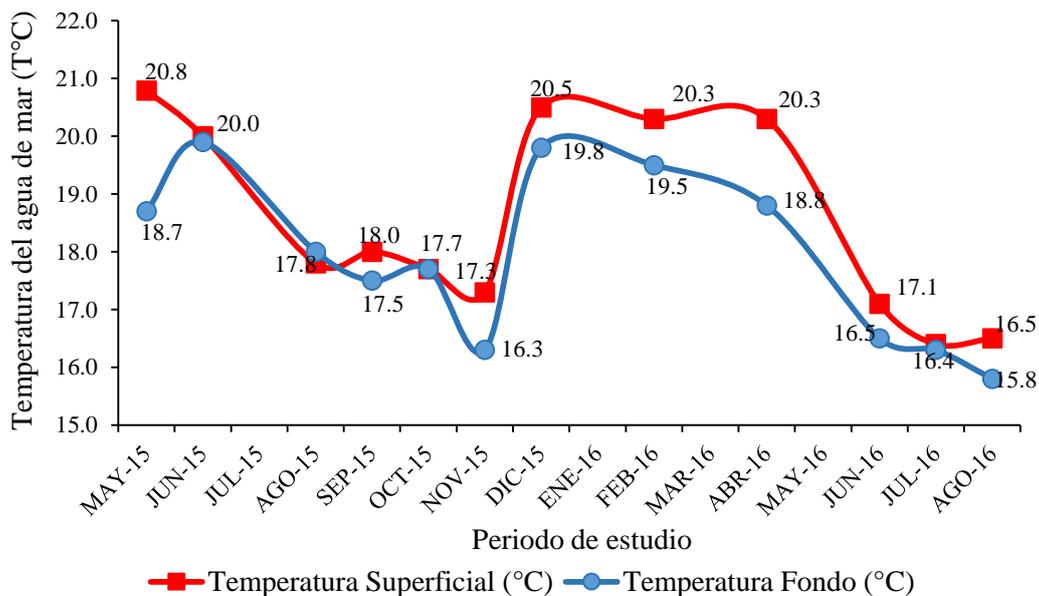


Figura 12. Temperatura superficial del agua de mar (°C) (línea roja) y de fondo (5m °C) (línea azul), registrada en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016.

De acuerdo a lo registrado en la figura 12, se observa que la diferencia entre la temperatura superficial del agua de mar y la temperatura de fondo (5m), en muchos casos fue menor a 1°C, a excepción de mayo y noviembre del 2015 y abril 2016. Por otro lado, se evidencia una estacionalidad térmica presente en la zona y a lo largo del periodo de estudio, al registrar valores superficiales que oscilan entre los 20.8°C (mayo 2015) y 16.5°C (agosto 2016).

Cabe resaltar que las condiciones oceanográficas en la zona de estudio estuvieron gobernadas por el evento denominado “El Niño Costero”, el cual se caracteriza por presentar anomalías térmicas positivas (ENFEN 2015). Estas condiciones se evidencian en la figura 13, al comparar el registro diario de la temperatura superficial del mar (línea roja) con el promedio de la temperatura superficial del mar de los últimos 30 años, registrados en la base oceanográfica del Instituto del Mar del Perú (línea celeste):

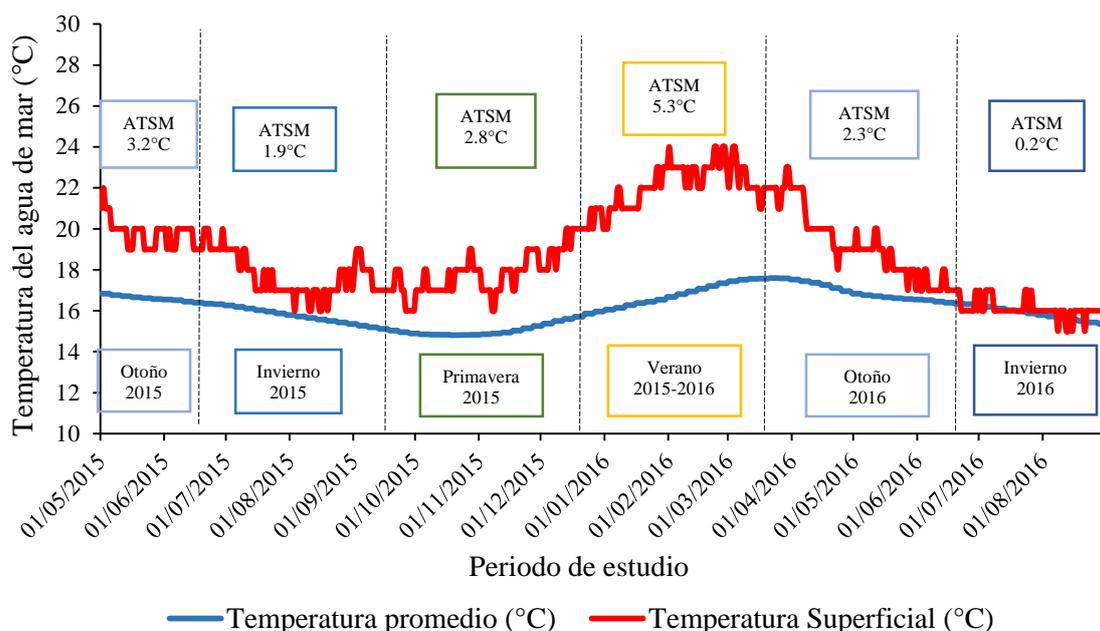


Figura 13. Temperatura superficial del agua de mar registrada en este estudio (línea roja) y promedio de la temperatura superficial de los últimos 30 años (línea azul), registrada en la base oceanográfica del Instituto del Mar del Perú.

Asimismo, el ENFEN, hizo de conocimiento estas condiciones oceanográficas, mediante los comunicados oficiales del 2015, los cuales, advertían la alerta de un evento denominado “El Niño Costero”, el cual generó anomalías térmicas en la superficie del mar (ATSM °C). Cabe mencionar que, la base oceanográfica del Instituto del Mar del

Perú, para otoño-2015 registró un promedio de ATSM de +3.2°C. Asimismo, en invierno-2015, registró un promedio de ATSM de +1.9°C y en primavera-2015, registró un promedio de ATSM de 2.8°C.

Durante el verano 2015-2016 y otoño-2016, la base oceanográfica continuó registrando condiciones cálidas, las cuales fueron referenciadas por los comunicados oficiales ENFEN (2016). En verano 2015-2016, se registró el promedio estacional más alto de ATSM (5.3°C), y en otoño-2016 el promedio de ATSM fue de 2.3°C, siendo este último menor en comparación con el otoño-2015. A partir de mediados del otoño-2016, las condiciones cálidas empezaron a debilitarse, las cuales fueron referenciadas por el comunicado oficial ENFEN N° 08 – 2016, donde se cambió el “Estado de alerta” a “No activo”, advirtiendo la normalidad de las condiciones oceanográficas, debido a los procesos de afloramiento ecuatoriales y costeros (ENFEN 2016). Esto queda evidenciado al registrar un promedio de ATSM de 0.2°C, para el invierno del 2016, el cual fue mucho menor en comparación con el invierno-2015. Por todo lo descrito, se evidencia que gran parte del periodo de estudio estuvo gobernado por el Evento “El Niño Costero”, el cual tuvo un efecto negativo sobre la vitalidad y sobrevivencia de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera*, ya que estos al soportar temperaturas mayores que las condiciones normales, se debilitaron y en consecuencia fueron más susceptibles a perder fronda y posteriormente ser desprendidos. Esta particularidad, fue descrita por North (1971) y Hernández-Carmona (1988), los cuales definen a la temperatura como un factor importante sobre la vitalidad y sobrevivencia de las poblaciones de *Macrocystis pyrifera*, mencionando que los esporofitos se desprenden con mayor facilidad a temperaturas superficiales mayores de 22°C.

4.2.2.- Salinidad

La salinidad del agua de mar (Ups), registrada en las salidas de campo, a cinco metros de profundidad, se muestra en la figura 14. Para el periodo de estudio, el valor de salinidad promedio fue de 35.096 Ups, con una oscilación de ± 0.155 Ups (con excepción de junio-2015, donde se registró una salinidad de 34.08 UPS).

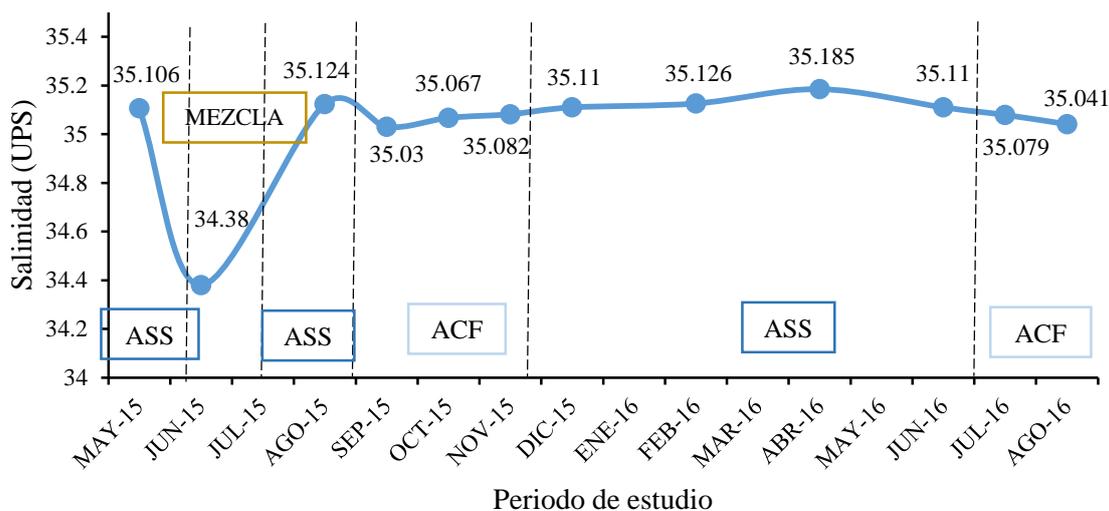


Figura 14. Salinidad del agua de mar (Ups) (línea celeste), registrada en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016, a cinco metros de profundidad.

De acuerdo a los estudios realizados por Zuta y Guillén (1970), Swartzman *et al.* (2008) e IMARPE 2014, existen 4 tipos de aguas costeras peruanas que se presentan a lo largo de la costa peruana: Aguas Tropicales Superficiales (ATS), con salinidad menor a 33.8 Ups, Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), con salinidades entre 33.8 a 34.8 Ups, Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), con salinidad mayor a 35.1Ups y Aguas Costeras Frías (ACF), con salinidades entre 34.8 a 35.1Ups. Según esa clasificación para mayo del 2015, correspondería la presencia de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), lo cual, para la zona de estudio era algo atípico, ya que generalmente predominan las Aguas Costeras Frías (ACF). Esta particularidad, fue referenciada por el comunicado oficial ENFEN N°07-2015, donde menciona que existían anomalías en los vientos del oeste, lo que posiblemente haya generado movimiento de las ASS hacia la costa. Para junio del 2015, se registra una baja en la salinidad, lo cual indicaría que hubo mezcla de aguas producto del afloramiento en la zona costera. En agosto del 2015, las ASS seguían presentes y la ENFEN mediante el comunicado oficial N° 13-2015, hacía referencia a ello, indicando que las anomalías del viento del oeste continuaban, lo que probablemente genero un traslado de las ASS hacia la costa. En los meses de setiembre a noviembre del 2015, se registraron valores característicos de Aguas Costeras Frías (ACF), evidenciando una tendencia a la normalidad en las condiciones marinas. En los siguientes meses: Diciembre 2015 a junio del 2016, se registró nuevamente valores atípicos de salinidad,

los cuales eran característicos de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS). Esto posiblemente como resultado del desplazamiento de estas masas de agua hacia la costa, las cuales se acercan con mayor intensidad hacia la costa en verano y otoño, para luego ser desplazadas nuevamente por las Aguas Costeras de afloramiento, durante los inviernos y primaveras. Dicho comportamiento fue descrito por Flores *et al.* 2013. Finalmente, en los meses julio y agosto del 2016 (invierno-2016), se registró valores característicos de las ACF, evidenciando el retorno a las condiciones normales en la zona de estudio y afirmando lo descrito por Flores *et al.* 2013. Por todo lo descrito, se evidencia que a lo largo del periodo de estudio, se registró diferentes masas de agua, las cuales posiblemente influyeron en el desarrollo del experimento, ya que cada masa de agua trae consigo sus propias características físicas y químicas, lo que probablemente produjo una variabilidad en el área de estudio y por ende, un medio marino distinto al de las condiciones normales (ACF).

4.2.3.- Potencial de hidronio

El potencial de hidronio (pH) del agua de mar, registrado en las salidas de campo, a cinco metros de profundidad, se muestra en la figura 15.

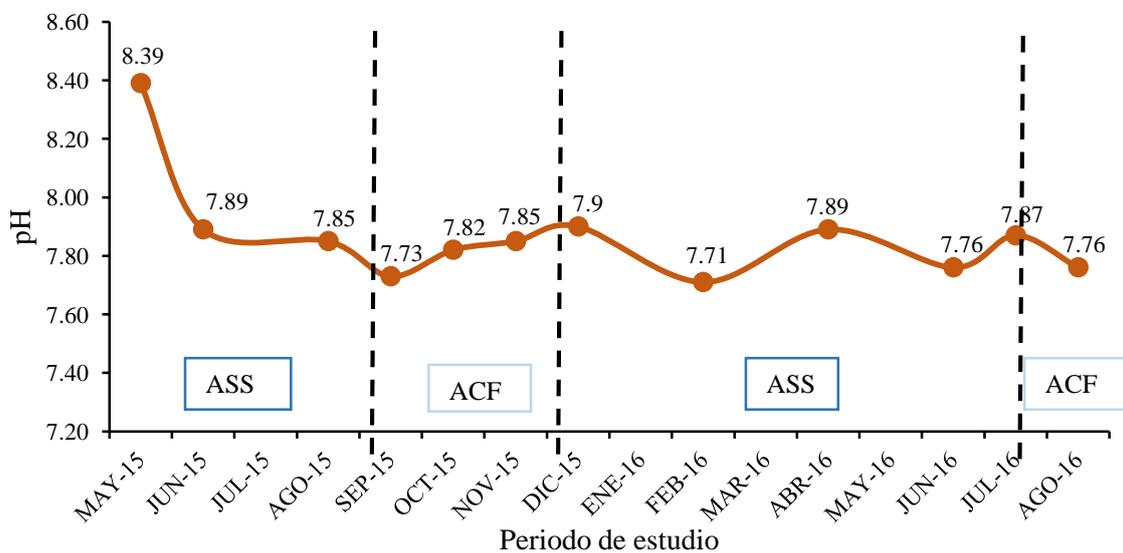


Figura 15. Potencial de hidronio del agua de mar (pH) (línea marrón), registrado en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016, a cinco metros de profundidad.

Para el periodo de estudio, el valor promedio del pH fue de 7.82 y los valores oscilaron entre 7.71 - 7.9, a excepción de mayo-2015, donde se registró un valor de 8.39. Según

León *et al.* (2011), las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), se relacionan con valores mayores de pH, mientras que las Aguas Costeras Frías (ACF), se relacionan con valores menores. La figura 15 evidencia lo descrito anteriormente, ya que las ASS en mayo-agosto 2015 y diciembre 2015 a junio 2016, registran valores por encima de los demás meses, mientras que de setiembre a noviembre 2015 y de julio a agosto 2016, los valores de pH disminuyeron. Los mismos autores, mencionan también que el pH presenta una correlación con la temperatura del agua de mar, la cual, al disminuir la temperatura del agua, también disminuye los niveles de pH y viceversa. Cabe mencionar que para observar cambios a gran escala en un ambiente marino, es necesario realizar un seguimiento en un gran periodo de tiempo. Si bien es cierto el pH, influye sobre la distribución de ciertos parámetros oceanográficos (IMARPE 2014), es probable que en este estudio, el rango de los valores obtenidos estuvo dentro de las condiciones normales, lo que no generó un desbalance en la zona de estudio.

4.2.4.- Fosfatos

Las concentraciones de fosfatos del agua de mar ($\mu\text{ mol/l}$), registrados en la salidas de campo, a cinco metros de profundidad, se muestra en la figura 16.

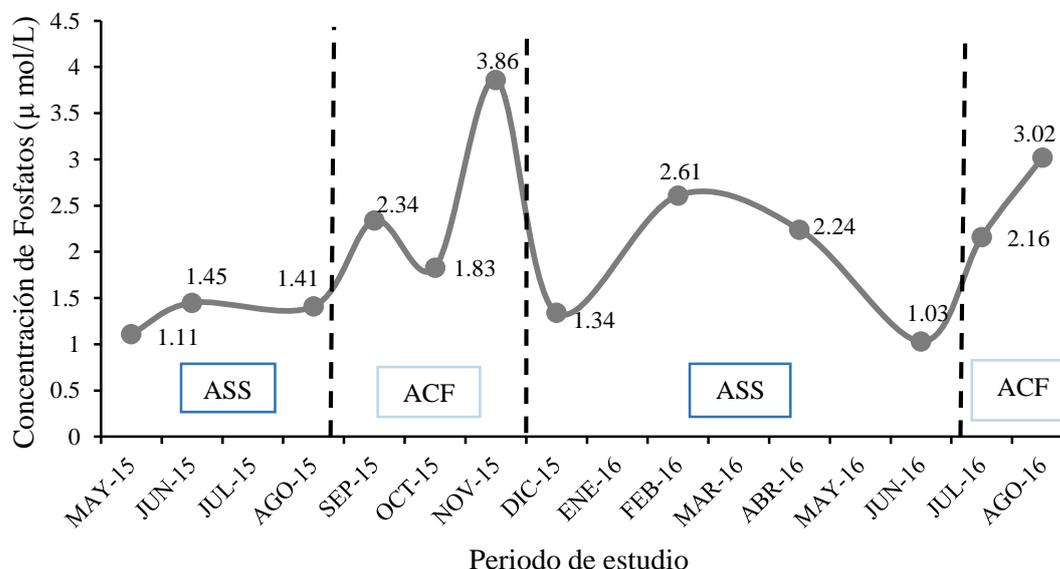


Figura 16. Concentración de fosfato del agua de mar ($\mu\text{ mol/l}$) (línea ploma), registrado en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016, a cinco metros de profundidad.

Para el periodo de estudio, el valor promedio de la concentración de fosfatos fue de 1.75 $\mu\text{ mol/l}$ y los valores oscilaron entre 1.11 – 2.61 $\mu\text{ mol/l}$, con excepción de noviembre-

2015 y agosto-2016, donde se registró valores por encima de los 3 $\mu\text{ mol/l}$. Estudios realizados por Zuta y Guillén (1970) e IMARPE (2014), mencionan que las ACF predominan en las estaciones de invierno y están caracterizadas por tener altos niveles de fosfatos, debido a que están asociados a eventos de afloramiento, mientras que las ASS, se caracterizan por presentar una concentración baja en fosfatos. Partiendo de ello, se observa que para los meses de mayo a agosto 2015 y diciembre 2015 a junio 2016, no se registró concentraciones altas de fosfatos, las cuales estarían asociados a las ASS (1.1 – 2.6 $\mu\text{ mol/l}$), mientras que para los meses de Setiembre a noviembre 2015 y julio a agosto 2016, se registró concentraciones altas de fosfatos ($> 3 \mu\text{ mol/l}$), evidenciando la presencia de las ACF.

4.2.5.- Silicatos

La concentración de silicatos del agua de mar ($\mu\text{ mol/l}$), registrados en la salidas de campo, a cinco metros de profundidad, se muestra en la figura 17.

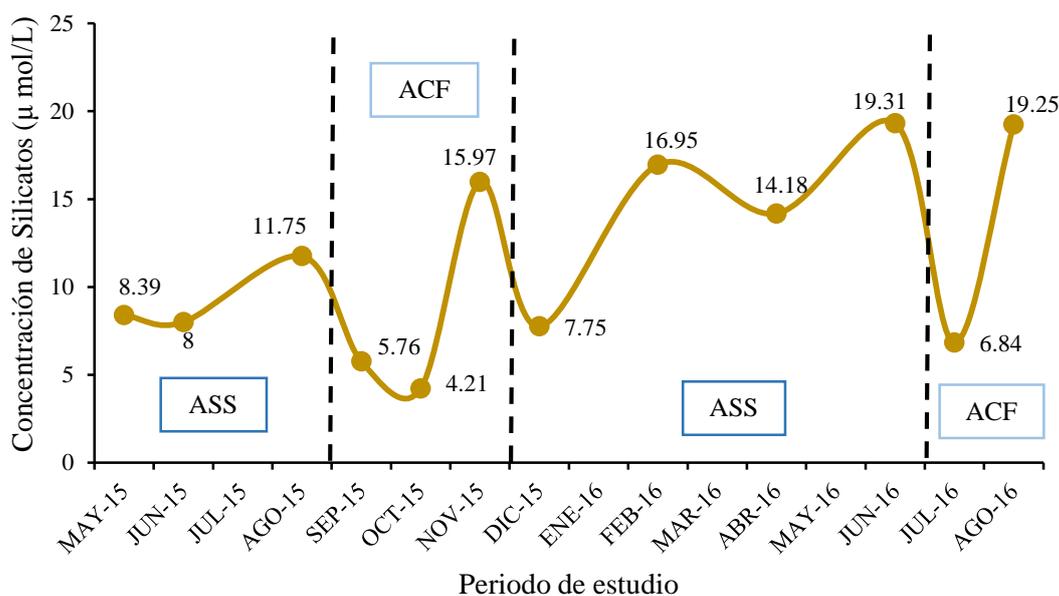


Figura 17. Concentración de silicatos del agua de mar ($\mu\text{ mol/l}$) (línea dorada), registrados en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016, a 5 metros de profundidad.

Para el periodo de estudio, el valor promedio de la concentración de silicatos fue de 11.53 $\mu\text{ mol/l}$ y los valores oscilaron entre 4.21 – 19.25 $\mu\text{ mol/l}$. De acuerdo a lo descrito por Zuta y Guillén (1970) e IMARPE (2014), las bajas concentraciones de silicatos ($< 5 \mu\text{ g} -$

at/L = $\mu\text{ mol/l}$) están asociados a las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) y a la estacionalidad de verano, mientras que en zonas costeras, las altas concentraciones de silicatos (hasta $25\ \mu\text{g} - \text{at/l} = \mu\text{ mol/l}$), están asociadas a los eventos de afloramiento costero y al invierno. Los valores registrados, no se ajustan necesariamente a las masas de aguas definidas con anterioridad, con excepción de noviembre 2015 ($15.97\ \mu\text{ mol/l}$) y agosto 2016 ($19.25\ \mu\text{ mol/l}$), donde sí se registró valores característicos de las Aguas Costeras Frías (ACF). En febrero y junio del 2016 se obtuvieron valores altos de silicatos: 16.95 y $19.31\ \mu\text{ mol/l}$, respectivamente, los cuales no eran característicos de las ASS y en octubre del 2015 se obtuvo el valor más bajo de concentración de silicatos: $4.21\ \mu\text{ mol/l}$, el cual tampoco es característico de una ACF. Cabe mencionar que los registros atípicos que no se correlacionan con las masas de aguas ya definidas (ASS y ACF), probablemente sean producto del Evento denominado “El Niño Costero” que gobernó gran parte del periodo de estudio.

4.2.6.- Nitratos

La concentración de nitratos del agua de mar ($\mu\text{ mol/l}$), registrados en las salidas de campo, a cinco metros de profundidad, se muestra en la figura 18.

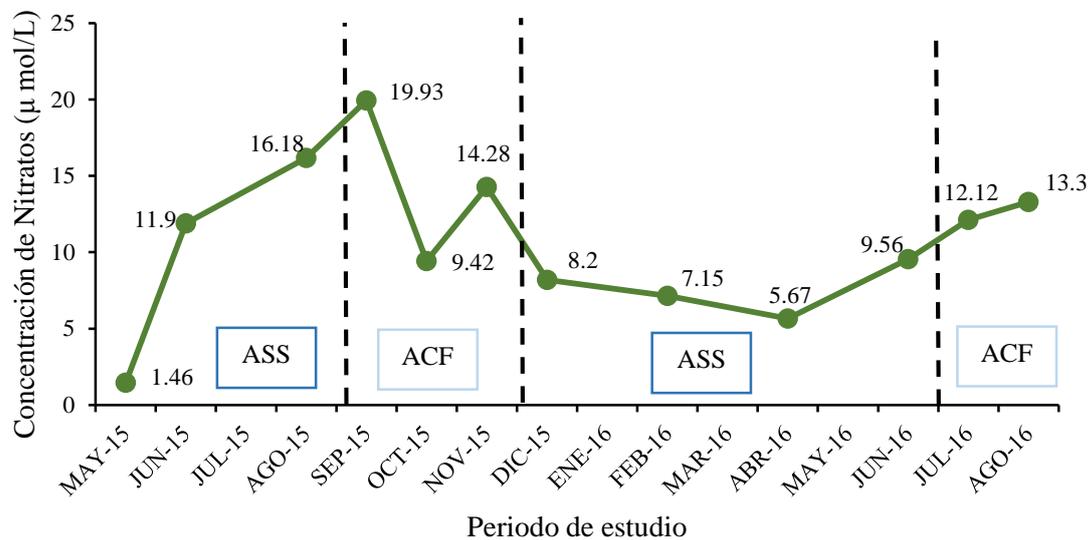


Figura 18. Concentración de nitratos del agua de mar ($\mu\text{ mol/L}$) (línea verde oscuro), registrados en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016, a cinco metros de profundidad.

Para el periodo de estudio, el valor promedio de la concentración de nitratos fue de 10.76 $\mu\text{ mol/L}$ y los valores oscilaron entre 1.46 – 19.33 $\mu\text{ mol/L}$. De acuerdo a lo descrito por Zuta y Guillén (1970) e IMARPE (2014), las altas de concentración de nitratos están asociados a las áreas de afloramiento ($> 15 \mu\text{g} - \text{at/L} = \mu\text{ mol/L}$) y a las ACF, mientras que las bajas concentraciones de nitratos, se asocian a las ASS. En mayo del 2015, se registró la concentración más baja de nitratos (1.46 $\mu\text{ mol/L}$), la cual coincide con la presencia de las ASS, mientras que en setiembre del 2015, se registró la concentración más alta de nitratos (19.93 $\mu\text{ mol/L}$), la cual coincide con la ACF. En el periodo diciembre 2015 – mayo 2016, se registró concentraciones de nitratos por debajo de los 10 $\mu\text{ mol/L}$, alcanzando una concentración promedio de 7.6 $\mu\text{ mol/L}$. Finalmente, en los dos últimos meses del experimento, Julio y Agosto 2016, los valores de nitratos se incrementaron, obteniendo valores de 12.12 y 13.3 $\mu\text{ mol/L}$ respectivamente, los cuales hacen referencia a la presencia de las ACF.

4.2.7.- Nitritos

La concentración de nitritos del agua de mar ($\mu\text{ mol/L}$), registrados en las salidas de campo, a cinco metros de profundidad, se muestra en la figura 19.

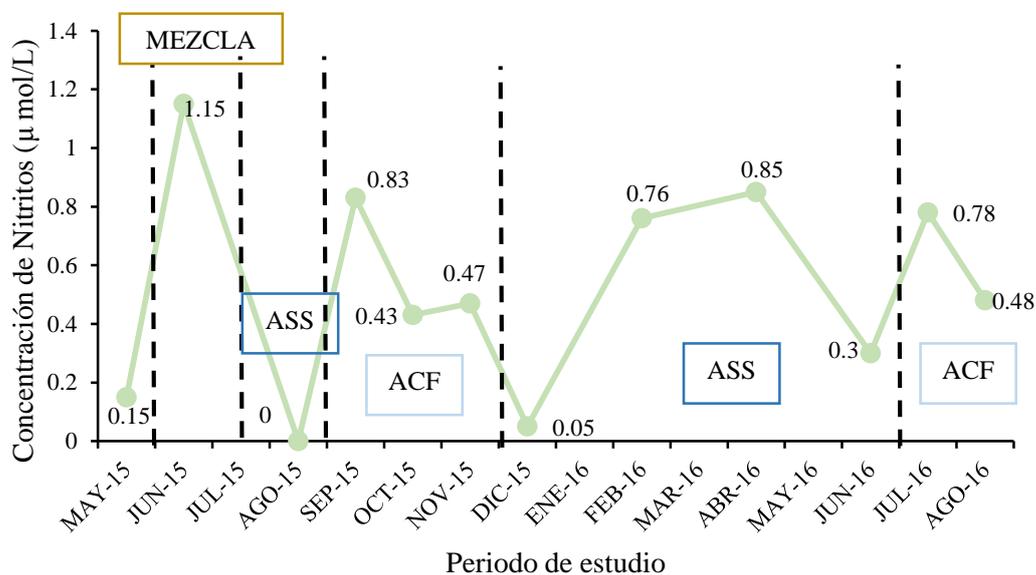


Figura 19. Concentración de nitritos del agua de mar ($\mu\text{ mol/L}$) (línea verde claro), registrados en la zona de estudio de mayo 2015 a agosto 2016, a cinco metros de profundidad.

Para el periodo de estudio, el valor promedio de la concentración de nitritos fue de 0.52 μ mol/L y los valores oscilaron entre 0.0 – 1.15 μ mol/l. Zuta y Guillén (1970) e IMARPE (2014), describen a las ASS con concentraciones de nitritos menores a 0.25 μ g-at/l y mencionan que en invierno se registran valores más altos cercanos a la costa y valores muy cercanos a cero en el verano. En el experimento, el registro más alto ocurrió en junio del 2015, el cual coincide con la mezcla de las ASS y un posible afloramiento que hubo en la zona de estudio, según el análisis en la salinidad (ver figura 14). En los meses de agosto y diciembre del 2015 se registró concentraciones menores de nitritos (0 y 0.05 μ mol/l), los cuales concuerdan con la presencia de las ASS. En los demás meses, se registró una concentración promedio de 0.56 μ mol/l de nitritos, el cual es un valor por encima de los valores que caracterizan a las ASS.

Por último, cabe mencionar que los fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos, están altamente correlacionados con la presencia de las ACF, las ASS y la temperatura. Estos factores muchas veces definen la disponibilidad de los nutrientes en el medio marino. Por ende, al analizar el comportamiento de los fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos, se debe tomar en cuenta los análisis de salinidad y temperatura del agua de mar.

4.3.- Evaluación del crecimiento

El número de datos de tasas de crecimiento mensual para la longitud total de la fronda (LT) y para la el diámetro mayor del rizoide (DMR), de los 5 experimentos realizados, se muestra a continuación en la tabla 4:

Tabla 4. Número de datos de tasas de crecimiento de la longitud total de la fronda (LT) y del diámetro mayor del rizoide (DMR), por cada marcaje realizado.

Meses	MARCAJE									
	1		2		3		4		5	
	LT	DMR	LT	DMR	LT	DMR	LT	DMR	LT	DMR
Jun-15	29	43	-	-	-	-	-	-	-	-
Ago-15	13	27	3	6	-	-	-	-	-	-
Set-15	6	16	3	6	-	-	-	-	-	-
Oct-15	2	9	3	6	12	14	-	-	-	-
Nov-15	1	14	3	3	9	13	-	-	-	-
Dic-15	1	7	2	1	8	13	-	-	-	-
Feb-16	-	6	2	1	-	11	6	5	-	-
Abr-16	-	1	2	1	-	9	-	-	-	-
Jun-16	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-

Jul-16	-	-	-	-	-	7	-	-	37	38
Ago-16	-	-	-	-	-	-	-	-	23	27
Total	52	123	18	24	29	77	6	5	60	65
# Tasas de crecimiento totales: 165 para el LT y 294 para el DMR.										

Como se muestra en la tabla 4, el número de tasas de crecimiento en cada experimento de marcaje, siempre estuvo en constante disminución, esto debido a los procesos de pérdida de fronda y desprendimiento de los esporofitos y al efecto de las variables ambientales, mencionados anteriormente.

4.3.1.- Variación mensual del LT y el DMR

La variación mensual de la talla media para la longitud total de la fronda (LT) y para el diámetro mayor de crecimiento del rizoide (DMR), de los 5 experimentos realizados, se muestra a continuación en las figuras 20 y 21:

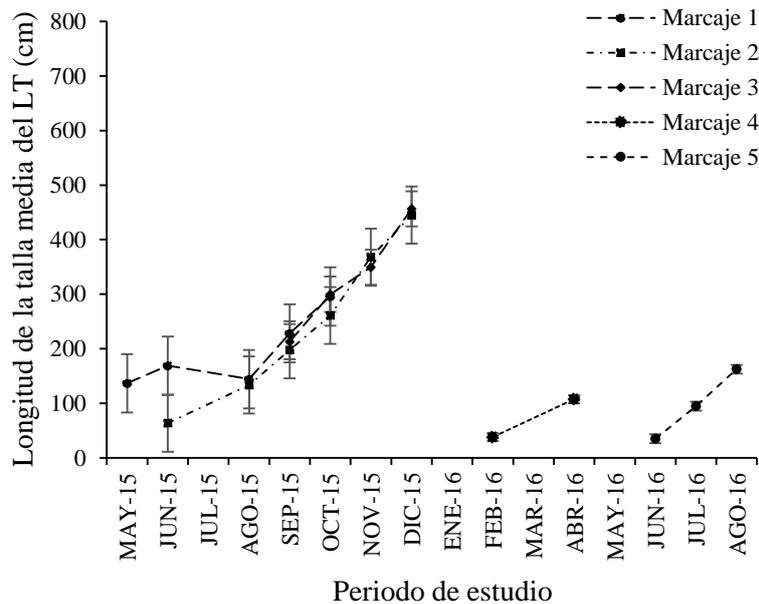


Figura 20. Talla media de la longitud total de la fronda (LT, cm) de los esporofitos marcados, durante mayo 2015 a agosto 2016.

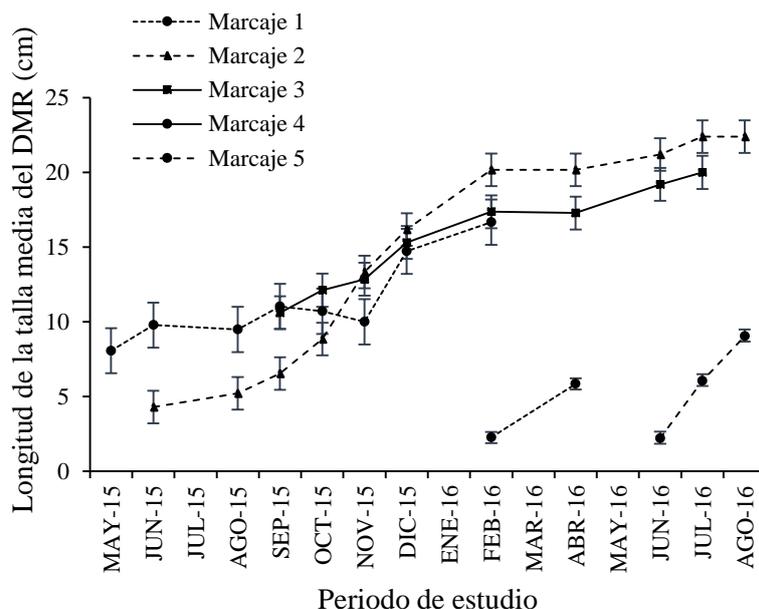


Figura 21. Talla media del diámetro mayor del rizoide (DMR, cm) de los esporofitos marcados, durante mayo 2015 a agosto 2016.

Como se muestra en las figuras 20 y 21, la talla media del LT y DMR, describieron crecimientos diferentes a lo largo del periodo de estudio. Según North 1971 y Lobban 1978, citados por Hernández-Carmona 1988, el crecimiento de la frondas de *Macrocystis pyrifera* sigue una curva de logarítmica de crecimiento. Este comportamiento no se logra observar completamente en la figura 20, debido a que el número de esporofitos siempre estuvo en constante reducción (ver figura 10), por ende no siempre hubo esporofitos marcados en todos los rangos de tallas y en consecuencia la talla media siempre fue variable. Cabe mencionar que para este análisis, no se tomó en cuenta a los esporofitos que sufrieron pérdida de fronda (incluirlos significaría una reducción de talla media grupal, lo cual sería un absurdo). Otra razón, por la cual no se logró observar el comportamiento descrito por dichos autores, es que los esporofitos al sufrir pérdida de fronda y salir del análisis, no permite el seguimiento de un grupo de individuos que se aproximen a alcanzar la talla máxima registrada para esta zona de estudio (LT= 800 cm), lo cual, de haber ocurrido, probablemente hubiera permitido observar la curva logarítmica de crecimiento descrita por North 1971 y Lobban 1978. En cuanto al crecimiento que describe la talla media del rizoide de los esporofitos marcados, a lo largo del periodo de estudio, se observa una curva de crecimiento logística (ver figura 21, marcajes 1, 2 y 3), la cual explicaría que el rizoide describe un crecimiento rápido hasta alcanzar una determinada talla (aproximadamente entre 10 – 12 cm, ver figura 21, ver marcajes 1, 2 y

3), donde posterior a ello el crecimiento empieza a ser menos rápido, hasta que finalmente llega a su talla máxima. Este modelo de crecimiento, difiere del modelo biológico de crecimiento de Von Bertalanffy, debido a que este último, define que las tasas de crecimiento van disminuyendo conforme el tamaño de los individuos va en aumento (Sparre y Venema 1997). Si bien es cierto, el modelo de Von Bertalanffy, describe el crecimiento de peces susceptibles a explotación, es necesario comparar estos modelos para definir y diferenciar los diferentes comportamientos biológicos que ocurren con respecto al crecimiento de los diferentes recursos.

4.3.2.- Tasa de crecimiento absoluta

Las tasas de crecimiento al ser agrupadas por rangos de tallas, permiten realizar un análisis más detallado, para saber si existen o no, diferencias significativas en el crecimiento a diferentes rangos de tallas de la longitud total de la fronda (LT) y del diámetro mayor del rizoide (DMR).

4.3.2.1.- Tasa de crecimiento de la longitud de la fronda

Las tasas de crecimiento de la longitud total de la fronda (LT) agrupados por rangos de tallas, se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Numero de tasas de crecimiento del LT, agrupados por rango de tallas.

Longitud total de la fronda (LT)			
Meses	LT<150 cm	150<LT<300 cm	LT>300 cm
Jun-15	19	2	8
Ago-15	11	4	1
Set-15	5	2	2
Oct-15	4	6	7
Nov-15	1	4	8
Dic-15	0	0	11
Feb-16	0	0	2
Abr-16	6	0	0
Jun-16	0	0	2
Jul-16	35	2	0
Ago-16	19	4	0
TOTAL	100	24	41
# Tasas Totales (LT) = 165			

Al aplicar el análisis paramétrico (ANOVA), en ninguno de los agrupamientos por rangos de tallas, se cumplió con el supuesto de normalidad y solo en el segundo y tercer rango ($150 < LT < 300$ cm y $LT > 300$ cm) se cumplió con la homogeneidad de varianza. Debido a ello, se realizó el análisis no paramétrico de Kruskal- Wallis, en el cual se encontró que solo en el primer rango de talla ($LT < 150$ cm) existieron diferencias significativas en las medianas de los agrupamientos mensuales de tasas de crecimiento (Chi-cuadrado = 27.296, G.L. = 6 y P-valor = 0.0001274), mientras que para el segundo (Chi-cuadrado = 12.003, G.L. = 6 y P-valor = 0.06189) y tercer rango (Chi-cuadrado = 9.405, G.L. = 6 y P-valor = 0.1521) no se encontró diferencias significativas. En consecuencia, al primer rango de tallas ($LT < 150$ cm), se le aplicó el test de Mann-Whitney-Wilcoxon (test de comparación en pares), con la finalidad de conocer cuáles son los agrupamientos mensuales que difieren entre sí. En la tabla 6, se observa el resultado del test de Mann-Whitney-Wilcoxon (P-valores obtenidos en las comparaciones en pares), el cual evidencia que los meses que difieren significativamente entre sí es junio-2015 con agosto-2016 y agosto-2015 con julio y agosto -2016. Asimismo, en la figura 22, se observa el grafico de box plot de los agrupamientos mensuales de tasas de crecimiento para los tres rangos de tallas, el cual evidencia lo descrito anteriormente. Cabe mencionar que en la figura 22, los meses del experimento fueron reemplazados por los siguientes números: Junio-2015 = 1, agosto-2015 = 2, setiembre-2015 = 3, octubre-2015 = 4, noviembre-2015 = 5, diciembre = 6, febrero-2016 = 7, abril-2016 = 8, junio-2016 = 9, julio-2016 = 10 y agosto-2016 = 11.

Tabla 6. Resultados del test Mann-Whitney-Wilcoxon para el primer rango de talla del LT.

Meses comparados	Junio 2015	Agosto 2015	Setiembre 2015	Octubre 2015	Abril 2016	Julio 2016
Agosto 2015	1.00	-	-	-	-	-
Setiembre 2015	0.3766	0.1479	-	-	-	-
Octubre 2015	0.9730	0.7238	1.00	-	-	-
Abril 2016	1.00	0.3824	1.00	1.00	-	-
Julio 2016	0.0675	0.0414	1.00	1.00	1.00	-
Agosto 2016	0.0035	0.0157	1.00	1.00	1.00	0.3766

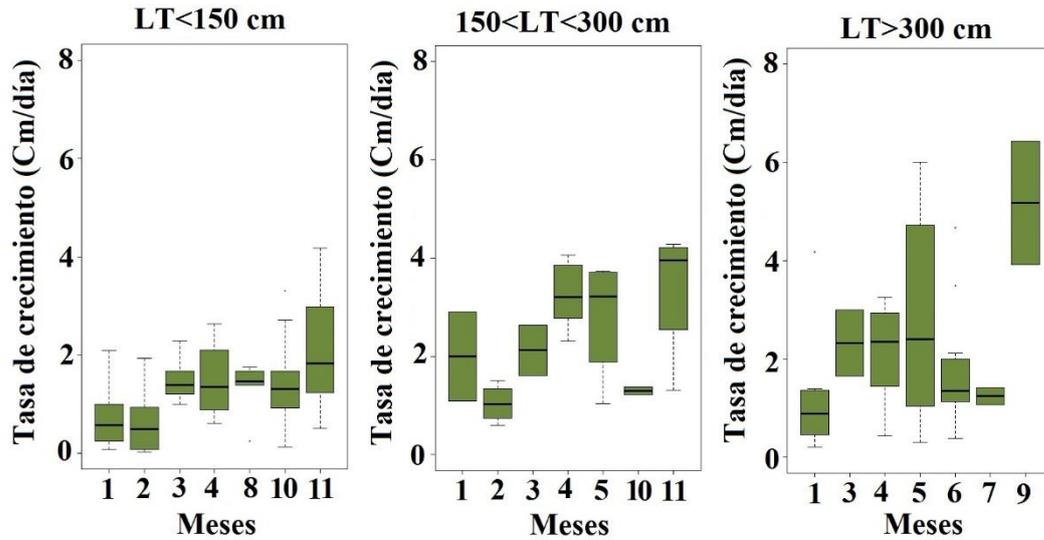


Figura 22. Box plot de los agrupamientos mensuales por rangos de talla del LT.

Aparentemente, según la figura 22, los esporofitos con mayor tamaño ($LT > 300$ cm), registran un crecimiento más elevado que los esporofitos de menor tamaño. Por otro lado, al relacionar la talla media de los esporofitos con la tasa de crecimiento (ver figura 23), no se observa una relación que defina claramente el crecimiento de los esporofitos, a lo largo de todo su periodo de vida. Cabe mencionar que los esporofitos con talla media inferiores a 200 cm, muestran una relación de tipo lineal ($R^2 = 0.54$), la cual indicaría que a una mayor talla (cm), los esporofitos registran una mayor tasa de crecimiento (cm/día). Todo esto se discutirá con el cálculo de la tasa estándar de crecimiento (G).

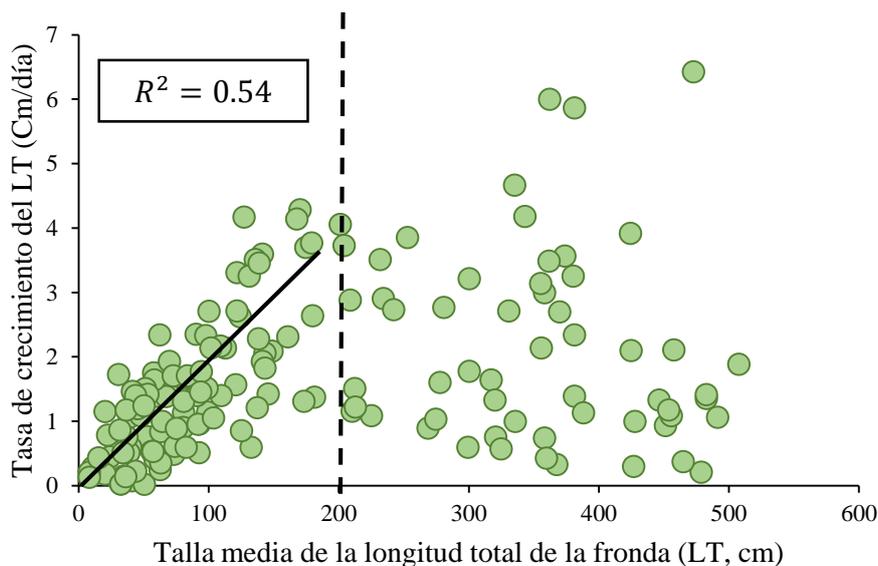


Figura 23. Talla media de la longitud total de la fronda (LT, cm) en relación con la tasa de crecimiento del LT (cm/día).

4.3.2.2.- Tasa de crecimiento del diámetro mayor del rizoide

Las tasas de crecimiento del diámetro mayor del rizoide (DMR) agrupados por rangos de tallas, se muestra a continuación en la tabla 7:

Tabla 7. Numero de tasas de crecimiento del DMR, agrupados por rango de tallas.

Diámetro mayor del rizoide (DMR)			
Meses	DMR<10 cm	10<DMR<20 cm	DMR>20 cm
Jun-15	25	15	3
Ago-15	24	7	2
Set-15	14	7	1
Oct-15	16	12	1
Nov-15	12	18	0
Dic-15	3	17	1
Feb-16	0	13	5
Abr-16	5	8	3
Jun-16	0	5	5
Jul-16	36	5	4
Ago-16	26	1	0
TOTAL	161	108	25
# Tasas Totales (LT) = 294			

Al aplicar el análisis paramétrico (ANOVA), en ninguno de los agrupamientos por rangos de tallas (DMR<10cm, 10<DMR<20cm y DMR>20cm), se cumplió con el supuesto de normalidad y homogeneidad de varianza. Debido a ello, se realizó el análisis no paramétrico de Kruskal- Wallis, en el cual se encontró que en el primer y segundo rango de talla (DMR<10 cm y 10<DMR<20 cm, respectivamente), existen diferencias significativas en las medianas de los agrupamientos mensuales de tasas de crecimiento (Chi-cuadrado = 67.678, G.L. = 8, P-valor = 1.42×10^{-11} y Chi-cuadrado = 18.857, G.L. = 10, P-valor = 0.042, respectivamente), mientras que para el tercer rango de talla (DMR>20 cm) no se encontró diferencias significativas (Chi-cuadrado = 7.66, G.L. = 8 y P-valor = 0.467). En consecuencia, al primer y segundo rango de tallas, se le aplicó el test de Mann-Whitney-Wilcoxon (test de comparación en pares), con la finalidad de conocer cuáles son los agrupamientos mensuales que difieren entre sí. A continuación, se muestra las tablas 8 y 9, donde se observa el resultado del test de Mann-Whitney-Wilcoxon, para el primer y segundo rango de tallas respectivamente:

Tabla 8. Resultados del test- Mann-Whitney-Wilcoxon para el primer rango de talla del DMR

Meses	Jun 2015	Ago 2015	Set 2015	Oct 2015	Nov 2015	Dic 2015	Abril 2016	Jul 2016
Agosto 2015	0.00	-	-	-	-	-	-	-
Set 2015	0.69	1.00	-	-	-	-	-	-
Octubre 2015	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-
Nov 2015	1.00	0.058	1.00	1.00	-	-	-	-
Dic 2015	1.00	0.685	1.00	1.00	1.00	-	-	-
Abril 2016	1.00	0.020	0.247	1.00	1.00	1.00	-	-
Julio 2016	0.015	9×10^{-8}	0.0002	0.041	0.030	1.00	1.00	-
Agosto 2016	0.034	3×10^{-5}	0.006	0.054	0.166	1.00	1.00	1.00

Tabla 9. Resultados del test- Mann-Whitney-Wilcoxon para el segundo rango de talla del DMR.

Meses	Jun 2015	Ago 2015	Set 2015	Oct 2015	Nov 2015	Dic 2015	Feb 2016	Abr 2016	Jun 2016	Jul 2016
Agosto 2015	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Set 2015	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Octubre 2015	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-
Nov 2015	1.00	0.98	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-
Dic 2015	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-
Febrero 2016	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-
Abril 2016	1.00	1.00	1.00	1.00	0.24	0.22	1.00	-	-	-
Junio 2016	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-
Julio 2016	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-
Agosto 2016	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

En la tabla 8, se observa el resultado del test de Mann-Whitney-Wilcoxon para el primer rango de tallas (P-valores obtenidos en las comparaciones en pares), en el cual se evidencia que los meses que difieren significativamente entre sí son: Julio y agosto-2016, en comparación con junio, agosto y setiembre-2015. Adicionalmente julio-2016, también difiere con octubre y noviembre-2015 y por último agosto-2015 difiere con abril-2016. Asimismo, en la tabla 9, se observa el análisis para el segundo rango de tallas ($10 < \text{DMR} < 20$ cm), en el cual ninguna comparación en pares resultó con diferencias significativas ($p\text{-valor} > 0.05$). Este resultado difiere del test de Kruskal- Wallis, que indicaba que existían diferencias significativas en las medianas de los agrupamientos mensuales. Probablemente, esta diferencia se deba a que el test de Mann-Whitney-Wilcoxon, realiza un análisis más robusto y detallado en comparación con el test de Kruskal- Wallis, que le permite evaluar de mejor manera a las medianas. Cabe mencionar que el p-valor obtenido con Kruskal- Wallis ($P\text{-valor} = 0.042$), es muy cercano al 0.05, lo cual indica que no existe una gran diferencia en el resultado obtenido y estaría concordando con lo reportado por el test de Mann-Whitney-Wilcoxon. Por otro lado, en la figura 24, se observa el gráfico de box plot de los agrupamientos mensuales de tasas de crecimiento para los tres rangos de tallas, el cual evidencia lo descrito anteriormente. Cabe mencionar que en la figura 24, los meses del experimento fueron reemplazados por los siguientes números: Junio-2015 = 1, agosto-2015 = 2, setiembre-2015 = 3, octubre-2015 = 4, noviembre-2015 = 5, diciembre = 6, febrero-2016 = 7, abril-2016 = 8, junio-2016 = 9, julio-2016 = 10 y agosto-2016 = 11.

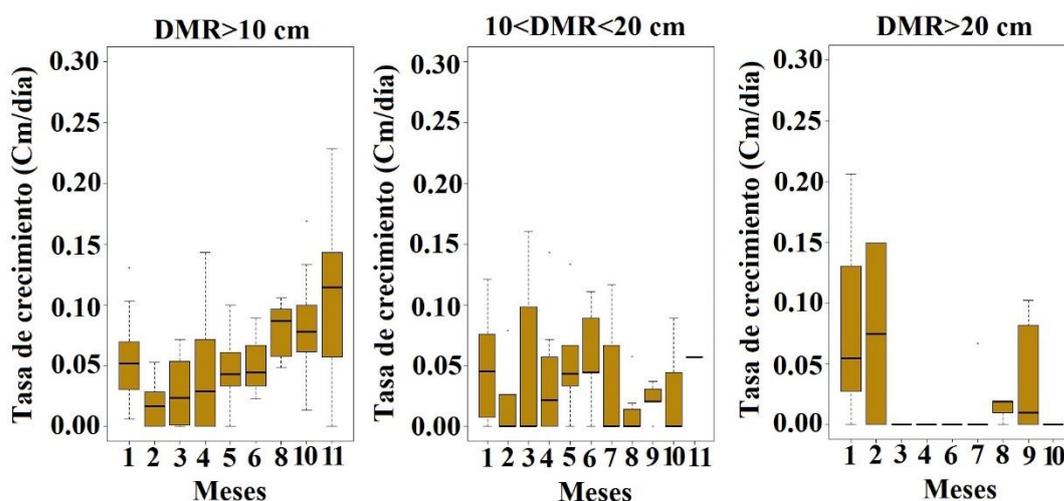


Figura 24. Box plot de los agrupamientos mensuales por rangos de talla del DMR.

Aparentemente, los esporofitos con menor tamaño del rizoide (DMR < 10 cm), registran un crecimiento más elevado que los esporofitos de mayor tamaño. Por otro lado, al relacionar la talla media del rizoide de los esporofitos con la tasa de crecimiento (ver figura 25), no se observa una relación que defina claramente el crecimiento de los esporofitos, a lo largo de todo su periodo de vida. Cabe mencionar que en cada rango de talla, siempre hubo rizoides que no crecieron y por ende no generaron un crecimiento positivo. Todo este análisis, se discutirá con el cálculo de la tasa estándar de crecimiento (G).

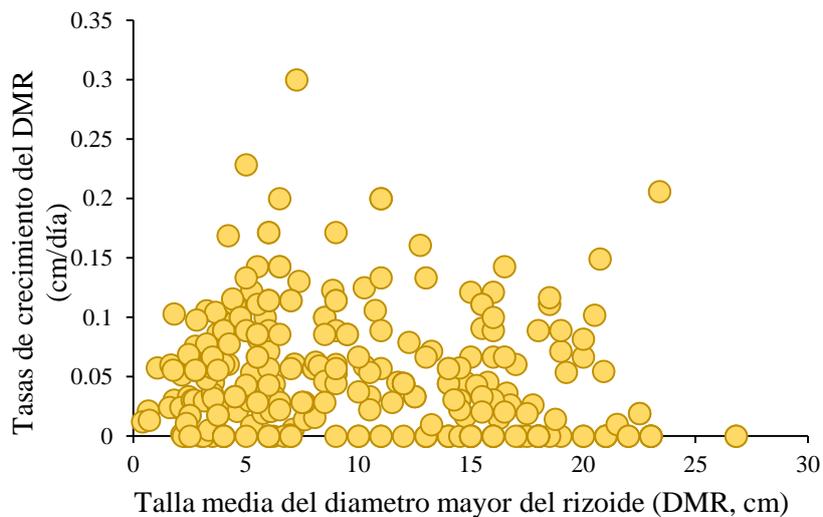


Figura 25. Talla media del diámetro mayor del rizoide (DMR, cm) en relación con la tasa de crecimiento del DMR (cm/día).

4.3.3.- Tasa estándar de crecimiento (G)

4.3.3.1.- Tasa estándar de crecimiento de la longitud total de la fronda

Al calcular la tasa estándar de crecimiento (G) del LT, para cada rango de tallas, se obtuvo que para el primer rango de tallas (LT < 150 cm), el valor de $G = 0.0356$; para el segundo rango de tallas (150 < LT < 300 cm), el valor de $G = 0.17$ y para el tercer rango de tallas (LT > 300 cm), el valor de $G = 0.0786$. Los valores de tasa estándar de crecimiento (G), obtenido por cada rango de talla, demuestra que los esporofitos que tienen una mayor longitud (150 < LT < 300 cm, $G = 0.17$ y LT > 300 cm, $G = 0.0786$) crecen más rápido que los esporofitos de menor longitud total (LT < 150 cm, $G = 0.0356$). Este comportamiento, fue descrito para *Macrocystis pyrifer* por North (1971) y Lobban (1978) citado por

Hernández-Carmona (1988), los cuales mencionan que: “Las frondas aceleran su crecimiento a medida que aumentan su longitud”. En el caso del experimento, es evidente que las frondas mayores a 150 cm, crecen más rápido que las frondas menores a 150 cm, pero cabe mencionar que al comparar las frondas que miden entre 150 y 300 cm, con la frondas mayores a 300 cm, estas últimas crecen más lento que las primeras, sugiriendo que el rango de mayor crecimiento para los esporofitos de *Macrocystis pyrifera*, para el periodo de estudio, osciló entre los 150 y 300 cm de longitud total ($G = 0.17$). A continuación, en la figura 26, se observa la correlación entre el logaritmo de base diez de la talla media del LT vs el % de elongación diario para el LT, que demuestra lo descrito, para cada uno de los tres rangos de tallas:

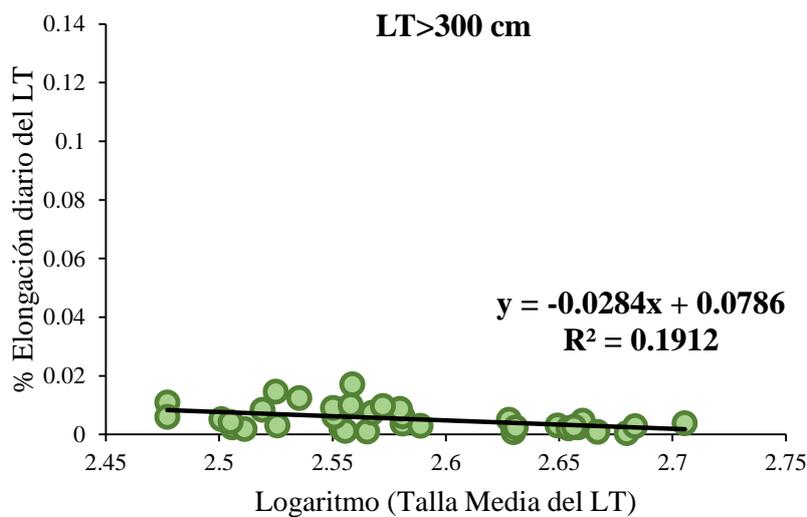
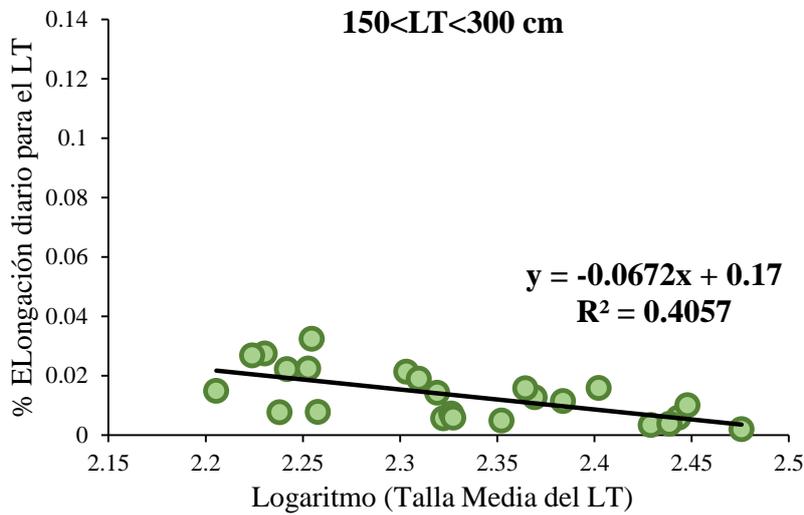
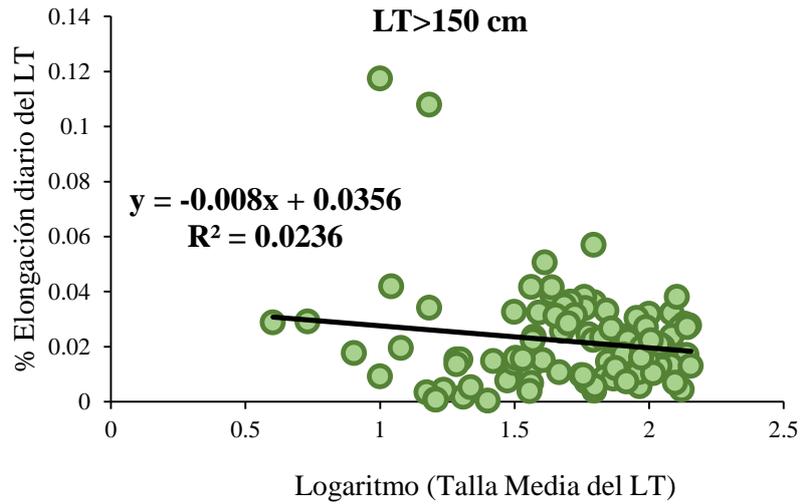


Figura 26. Correlación entre el logaritmo de base diez de la talla media del LT versus el porcentaje de elongación del LT (%), para cada rango de talla.

4.3.3.2.- Tasa estándar de crecimiento del diámetro mayor del rizoide

Al calcular la tasa estándar de crecimiento (G), para cada rango de tallas, del DMR, se obtuvo que para el primer rango de tallas ($DMR < 10$ cm), el valor de $G = 0.041$; para el segundo rango de tallas ($10 < DMR < 20$ cm), el valor de $G = 0.0214$ y para el tercer rango de tallas ($DMR > 20$ cm), el valor de $G = 0.0013$. En la figura 27, se observa la correlación entre el logaritmo de base diez de la talla media del DMR vs el % de elongación diario para el DMR, para cada uno de los tres rangos de tallas. Estos valores de tasa estándar de crecimiento (G), demuestran que los esporofitos que tienen un menor tamaño del disco de fijación ($DMR > 10$ cm, $G = 0.041$), tienen un crecimiento más rápido que los esporofitos que tienen un mayor tamaño del disco de fijación ($10 < DMR < 20$ cm, $G = 0.0214$ y $DMR > 20$ cm, $G = 0.0013$). Este comportamiento de crecimiento del disco de fijación, aún no ha sido descrito por ningún autor, ya que la mayoría de trabajos se basan exclusivamente en el crecimiento de la fronda. Sin embargo, el estudio del crecimiento del disco de fijación es importante debido a que es una estructura estable, que no sufre ruptura o pérdida de su estructura, lo cual le otorga cierta ventaja al momento de querer estimar el crecimiento o edad de ejemplares *Macrocystis pyrifera* (Graham *et al* 2007).

Finalmente si comparamos el crecimiento del LT y DMR, mediante la tasa estándar de crecimiento, obtendríamos que en el primer rango de tallas ($DMR < 10$ cm y $LT < 150$ cm), el diámetro del rizoide ($G = 0.041$) crece más rápido que la longitud de la fronda ($G = 0.0356$), esto probablemente se deba a una característica de fijación del esporofito, el cual busca primero ser estable en el sustrato y luego crecer en longitud de la fronda. Una vez llegado al segundo rango de tallas ($10 < DMR < 20$ cm y $150 < LT < 300$ cm), y a la vez ser estable en el sustrato, la longitud de la fronda crece más rápido ($G = 0.17$) que el disco de fijación ($G = 0.0214$), presuntamente con la finalidad de llegar más rápido hacia la superficie y tener una mayor cantidad de luz disponible, producir nueva frondas, mantener el crecimiento y ser estable frente a los cambios oceanográficos. Finalmente, al llegar al tercer rango de tallas ($LT > 300$ cm y $DMR > 20$ cm), el crecimiento del DMR ($G = 0.0013$), se vuelve bastante pequeño en comparación con el crecimiento de la fronda ($G = 0.0786$), presuntamente el crecimiento de la fronda mantenga ese ritmo con la finalidad de regenerar frondas perdidas por acción del oleaje, reproducirse y ser estable frente a las condiciones oceanográficas adversas que puedan ocurrir. Todo este patrón de crecimiento, estuvo en función de las condiciones oceanográficas que ocurrieron en la zona y a lo largo del periodo de estudio.

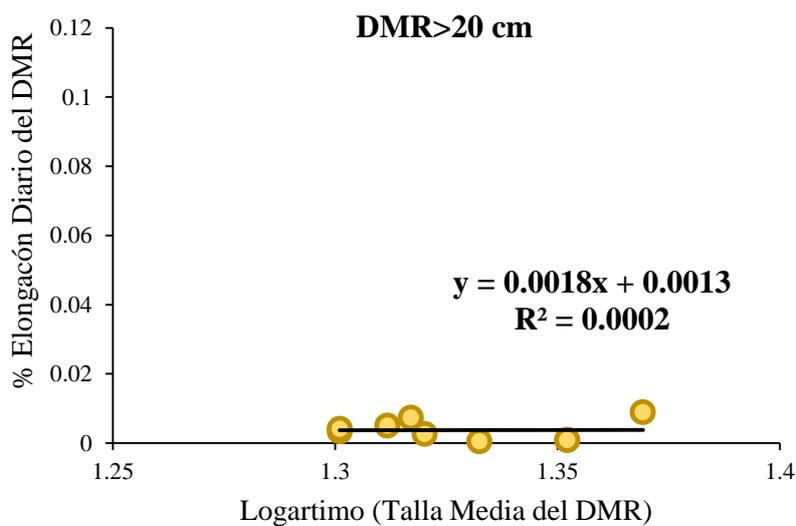
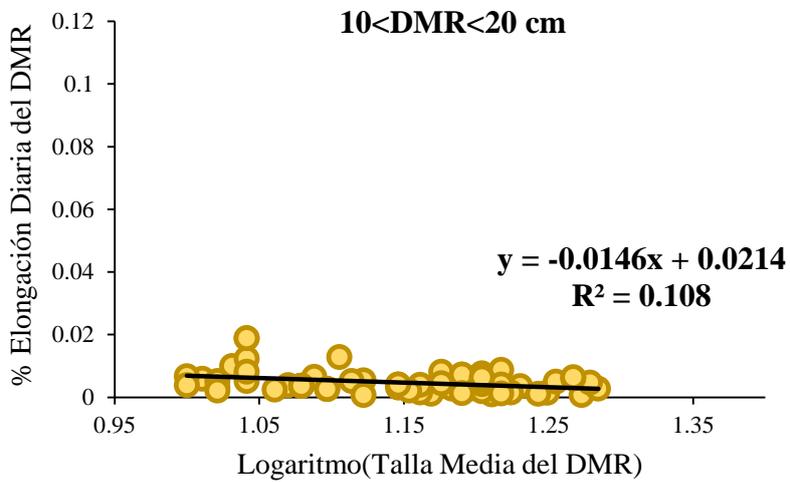
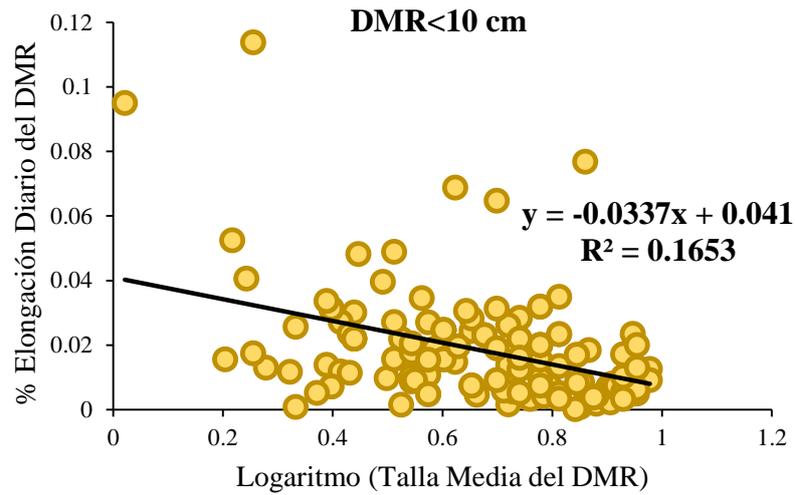


Figura 27. Correlación entre el logaritmo de base diez de la talla media del DMR versus el porcentaje de elongación del DMR (%), para cada rango de talla.

4.3.4.- Porcentaje diario de elongación

4.3.4.1.- Porcentaje de elongación diario de la longitud total de la fronda

A continuación en la figura 28, se observa la talla media de la longitud total de la fronda (LT) en relación con el porcentaje diario de elongación:

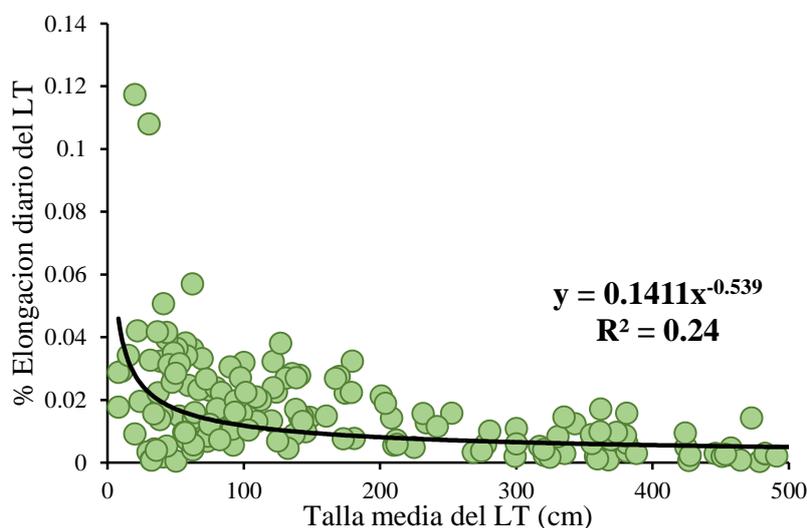


Figura 28. Talla media del LT (cm) versus el % de elongación diario (LT)

En la figura 28, se observa que los datos se ajustan a una curva potencial ($R^2 = 0.24$), la cual, si bien es cierto no tiene un R^2 muy alto, evidencia que conforme la talla media va aumentando, el porcentaje de elongación del LT tiende a disminuir. Según North (1971), al crecimiento de las frondas de *Macrocystis pyrifera*, también se le puede llamar elongación debido a que los esporofitos presentan un estiramiento en los internodos y las ganancias en peso no son proporcionales a esta elongación. Asimismo, como el crecimiento del LT, está en función del medio oceanográfico que lo rodea, el cual de ser favorable permite el crecimiento por igual de ejemplares de diferentes rangos de tallas, es probable que los esporofitos juveniles o adultos, puedan registrar un crecimiento igual o muy parecido. Cabe mencionar que para este análisis, solo se utilizaron a los esporofitos que crecieron y no sufrieron pérdida de fronda (194 datos de crecimiento), lo cual es un criterio que fue descrito por Hernández – Carmona (1988) y North (1971).

4.3.4.2.- Porcentaje de elongación diario del diámetro mayor del rizoide

A continuación en la figura 29, se observa la talla media del diámetro mayor del rizoide (DMR) en relación con el porcentaje diario de elongación:

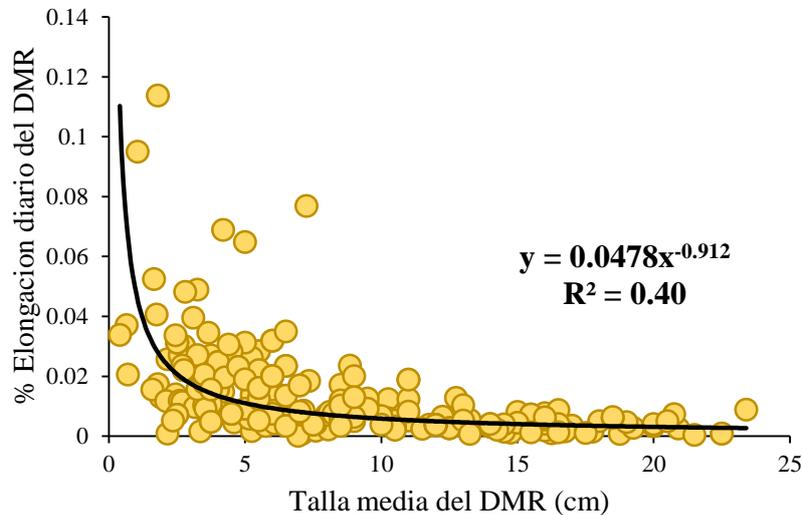


Figura 29. Talla media del DMR (cm) versus el % de elongación diario (DMR)

En la figura 29, se observa que los datos se ajustan a una curva potencial ($R^2 = 0.40$), la cual, si bien es cierto no tiene un R^2 muy alto, evidencia que conforme la talla media va aumentando, el porcentaje de elongación del rizoide tiende a disminuir (esto se observa claramente cuando la talla media es menor a las 10 cm, ver figura 29). Como el crecimiento de los esporofitos (rizoide), está en función del medio oceanográfico que lo rodea, el cual de ser favorable permite el crecimiento por igual de ejemplares de diferentes rangos de tallas, es probable que los rizoides de los esporofitos juveniles o adultos, puedan registrar un crecimiento igual o muy parecido. Cabe mencionar, que del total de datos de crecimiento del DMR (294), solo se utilizó un 74 % de ellas (218 tasas), ya que se excluyó a los rizoides que no crecieron, lo cual es un criterio que fue descrito por Hernández – Carmona (1988) y North (1971). Finalmente, la influencia del medio oceanográfico sobre el crecimiento de los esporofitos será abordado en el siguiente capítulo.

4.4.- Efecto de los parámetros oceanográficos sobre el crecimiento

4.4.1.- Análisis de las variables dependientes

El análisis de la distribución de la tasa de crecimiento de la longitud total de la fronda (LT) y el porcentaje de elongación del diámetro mayor del rizoide (DMR)), mediante el gráfico de Cullen y Frey (ver Anexo 5 y 6), mostro que ambas distribuciones se ajustan a un modelo de tipo exponencial. Por consiguiente, se estableció que las variables dependientes se ajustan a una distribución “Tweedie”, ya que este tipo de distribución, se ajusta a diferentes modelos de familia exponencial (Binomial, Poisson, Gamma o Beta) (Dunn 2007).

Al analizar los valores de Curtosis (k), sé que obtuvo un valor de 4.57 para el LT y 17.46 para el DMR, es decir, en ambos casos las distribuciones son de tipo Leptocurtica ($k > 3$), el cual indica que ambas distribuciones son más apuntadas y con colas menos gruesas que la distribución normal. En cuanto a las asimetrías (A_p), se obtuvo un valor de 0.70 para el LT y 1.05 para el DMR, los cuales advierten que ambas distribuciones presentan una asimétrica hacia la derecha ($A_p > 0$). Estos detalles, se observan mediante los histogramas de frecuencias de las tasas de crecimiento del LT y del porcentaje de elongación del DMR (ver figura 30 y 31).

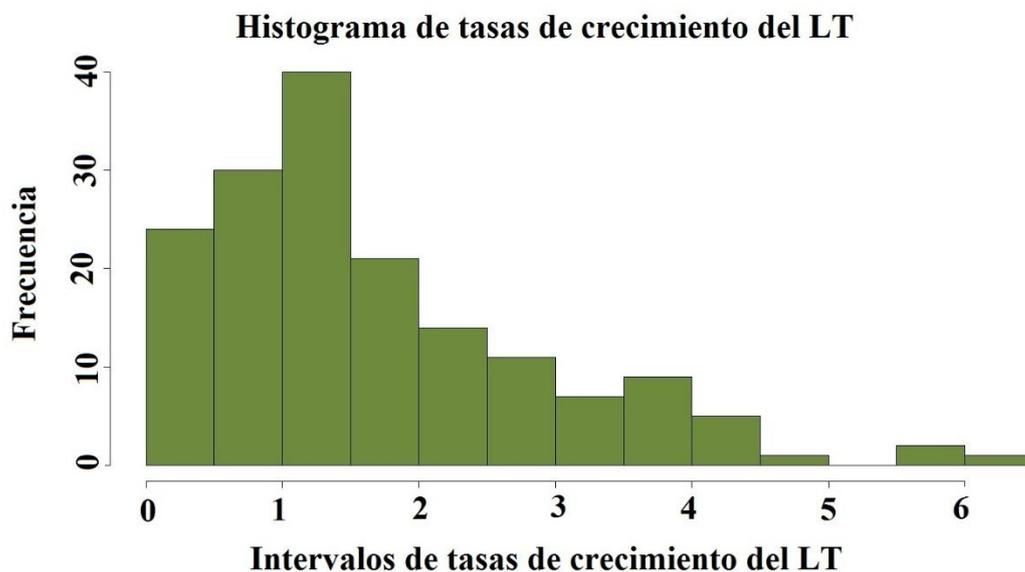


Figura 30. Histograma de frecuencias de las tasas de crecimiento del LT.

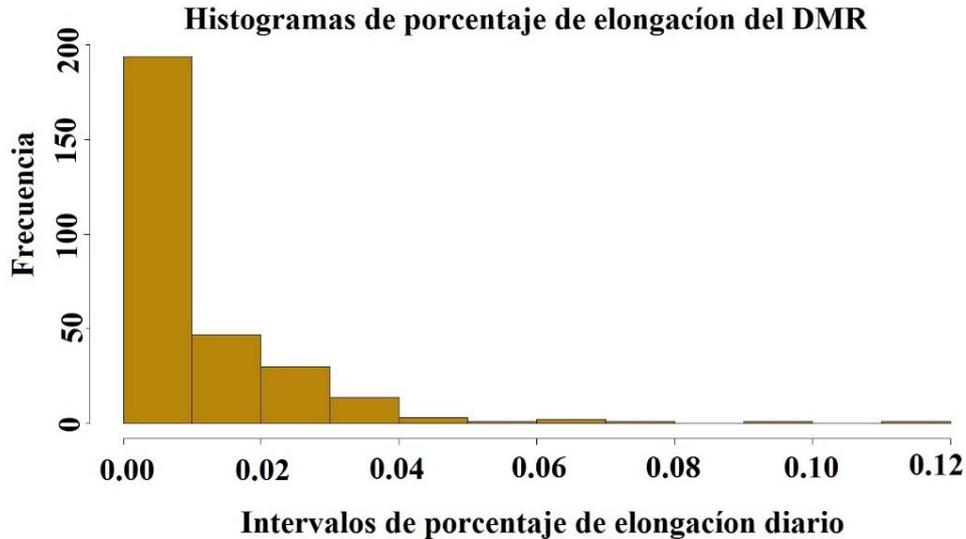


Figura 31. Histograma de frecuencias del porcentaje de elongación diario del DMR.

4.4.2.- Análisis multivariado

4.4.2.1.- Análisis de correlación

El análisis de correlación muestra que las tasas de crecimiento de la longitud total de la fronda (LT), no guarda una relación altamente significativa (de tipo lineal), con los parámetros oceanográficos (ver anexo 7). Por otro lado, la temperatura muestra cierto grado de correlación negativa con la salinidad (-0.63), la cual estaría asociada a las masas de aguas que fueron registradas (Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) y Aguas Costeras Frías (ACF)) a lo largo del experimento. Las ASS, están relacionadas con valores relativamente más altos de temperatura y salinidad que las ACF. El otro parámetro que registró una correlación negativa con la temperatura fue el fosfato (-0.71), esto presuntamente debido a las bajas concentraciones de fosfatos a las que están asociadas las ASS. Por otro lado, también se reportó otra correlación negativa entre la salinidad y los nitritos (-0.71). Al igual que los fosfatos, las bajas concentraciones de nitritos también están asociadas a las ASS (Zuta y Guillén 1970 e IMARPE 2014). Finalmente, se encontró una correlación positiva entre los fosfatos y silicatos (0.60), lo cual en ambos casos están asociados a las aguas costeras frías, ya que estas masas de aguas son ricas en nutrientes (Zuta y Guillén 1970 e IMARPE 2014). Los demás parámetros oceanográficos, no muestran una relación significativa con y en relación con las tasas de crecimiento del LT. El porcentaje de elongación diario del DMR y el registro de los parámetros oceanográficos (ver anexo 8), no mostró una relación altamente significativa.

4.4.2.2.- Modelo aditivo generalizado (GAM)

- GAM aplicado para la longitud total de la fronda

El modelo aditivo generalizado que describe el efecto de los parámetros oceanográficos sobre las tasas de crecimiento de la longitud total de la fronda (LT), considero entre sus variables a la talla media (cm) de los esporofitos e identificó a la temperatura (°C), a los silicatos (μ mol/L) y a los nitratos (μ mol/L), como los parámetros oceanográficos que influyen significativamente sobre el crecimiento del LT. A continuación, en la tabla 10, se observa el resultado del modelo:

Tabla 10. Resultados del modelo aditivo generalizado (GAM) para el LT.

Formula:	Tasa de Crecimiento \sim s(Talla media) + s(Temperatura) + s(Silicatos) + s(Nitratos)				
----------	---	--	--	--	--

Coeficientes Paramétrico:	Estimado	Error Estándar	T -valor	Pr (> t)	Significancia
Intercepto	0.3735	0.0454	8.225	7.8×10^{-14}	***

Significancia aprox. de los términos suavizados:	Edf	Ref. df	F	P-valor	Significancia
s(Talla media)	3.74	9	8.39	3.8×10^{-16}	***
s(Temperatura)	3.63	9	3.18	2.47×10^{-7}	***
s(Silicatos)	1.10	9	0.33	0.0392	*
s(Nitratos)	2.27	9	1.40	0.0001	***

Desviación explicada = 51.2% ; N = 165
Significancia: 0 ***, 0.001 **, 0.01 *, 0.05 ‘.’

Como se observa en la tabla 10, este modelo aditivo generalizado utilizó 165 tasas de crecimiento del LT y obtuvo una desviación explicada del 51.2%. Adicionalmente, se obtuvo una gráfica donde se observa el rango óptimo de crecimiento de la talla media de los esporofitos y de los parámetros oceanográficos que favorecieron significativamente al crecimiento del LT, cuando todas estas variables interactuaron entre sí (ver figura 32). Los rangos óptimos de las variables se describen en la tabla 11.

Tabla 11. Rangos óptimos de las variables oceanográficas que favorecen al crecimiento del LT.

LT	Rangos Óptimos
Talla Media (Cm)	100 – 450 cm
Temperatura (°C)	< 17.8°C
Silicatos (μ mol/L)	Concentraciones > 12 μ mol/L
Nitratos (μ mol/L)	Concentraciones < 6 : 12 > μ mol/L

En consecuencia, la formulación del modelo aditivo generalizado quedo de la siguiente manera:

$$\text{Tasa crecimiento del LT} = 0.3735 + f_1 (\text{Talla media}) + f_2 (\text{Temperatura}) + f_3 (\text{Silicatos}) + f_4 (\text{Nitratos}) + \varepsilon_i$$

Los coeficientes de las variables y los supuestos del GAM se observan en los anexos 9 y 10, respectivamente.

- GAM aplicado para el diámetro mayor del rizoide

Por otro lado, al formular el modelo aditivo generalizado que describe el efecto de los parámetros oceanográficos sobre el porcentaje de elongación del diámetro mayor del rizoide (DMR), se determinó que el crecimiento, estuvo favorecido significativamente por la salinidad (Ups), los silicatos (μ mol/L) y los nitratos (μ mol/L). A continuación, en la tabla 12, se observa el resultado del modelo:

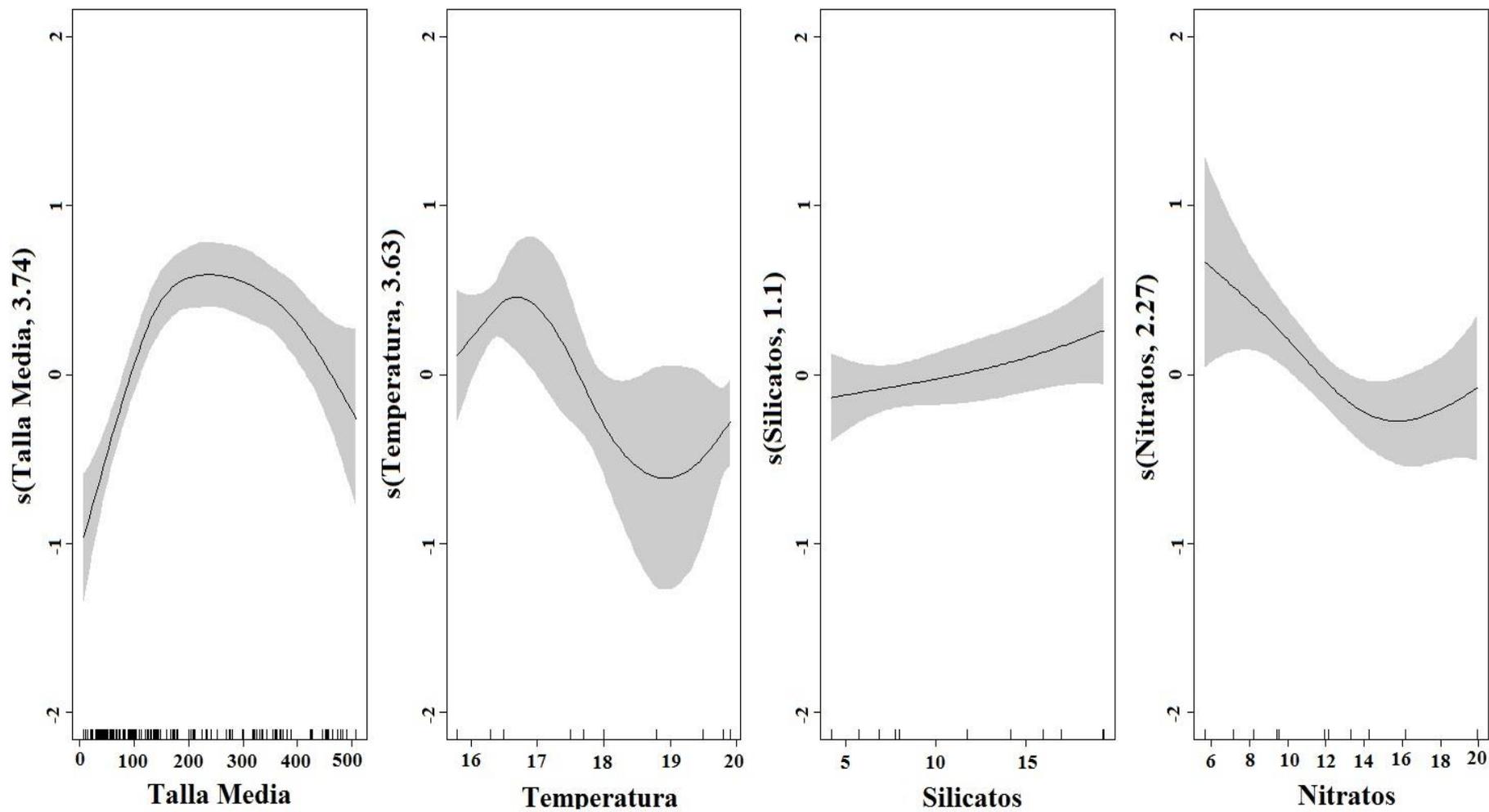


Figura 32. Grafico del modelo aditivo generalizado para el LT

Tabla 12. Resultados del modelo aditivo generalizado (GAM) para el DMR.

Formula:	% Elongación ~ s(Talla media) + s(Salinidad) + s(Silicatos) + S(Nitratos)				
----------	---	--	--	--	--

Coeficientes Paramétrico:	Estimado	Error Estándar	T -valor	Pr (> t)	Significancia
Intercepto	-5.0679	0.0732	-69.28	<2 x 10 ⁻¹⁶	***

Significancia aprox. de los términos suavizados:	Edf	Ref. df	F	P-valor	Significancia
s(Talla media)	1.42	9	12.54	<2 x 10 ⁻¹⁶	***
s(Salinidad)	4.01	9	1.91	2.7 x 10 ⁻⁵	***
s(Silicatos)	3.33	9	2.70	4.85 x 10 ⁻⁷	***
s(Nitratos)	0.49	9	0.17	0.0163	*

Desviación explicada = 57% ; N = 294
Significancia: 0 ***, 0.001 **, 0.01 *, 0.05 ‘.’

De acuerdo a la tabla 12, el modelo aditivo generalizado utilizó 294 tasas de elongación del DMR y obtuvo una desviación explicada del 57%. Adicionalmente, se obtuvo una gráfica donde se observa el rango óptimo de crecimiento de la talla media del DMR de los esporofitos y de los parámetros oceanográficos que favorecieron significativamente al crecimiento, cuando estas variables interactuaron entre sí (ver figura 33). Los rangos óptimos de las variables se describen en la tabla 13 (los coeficientes de las variables y los supuestos del GAM se observan en los anexos 11 y 12, respectivamente).

Tabla 13. Rangos óptimos de las variables oceanográficas que favorecen al crecimiento del DMR.

DMR	Rangos Óptimos
Talla Media (Cm)	DMR < 10 cm
Salinidad (Ups)	< 34.4 : 35.1 > Ups
Silicatos (μ mol/L)	Concentraciones < 6 : 12 > μ mol/L
Nitratos (μ mol/L)	Concentraciones > 12 μ mol/L

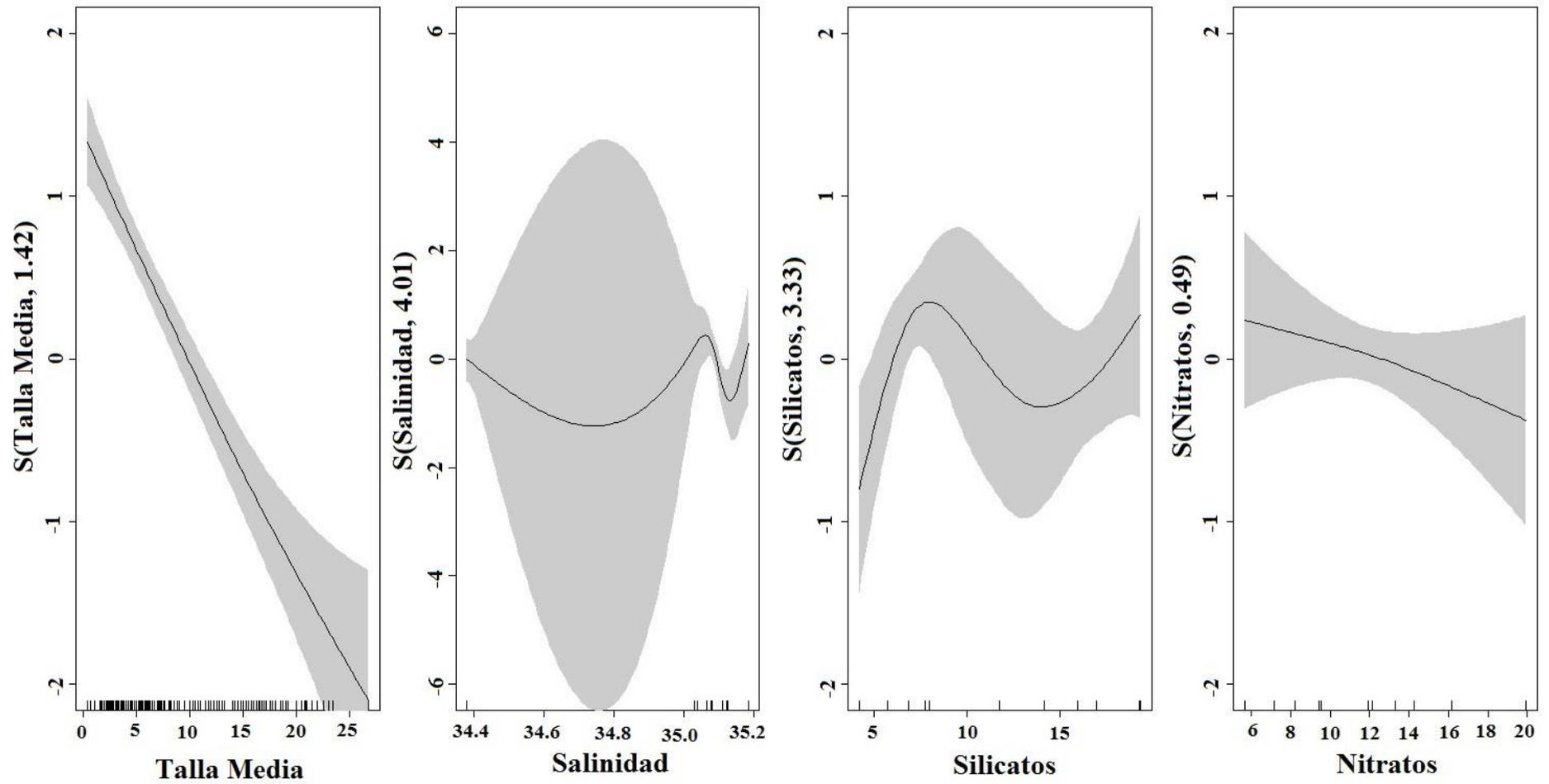


Figura 33. Grafico del modelo aditivo generalizado para el DMR

En consecuencia, la formulación del modelo aditivo generalizado quedo de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Tasa crecimiento del LT} = & -5.0679 + f_1 (\text{Talla media}) + f_2 (\text{Salinidad}) + f_3 (\text{Silicatos}) \\ & + f_4 (\text{Nitratos}) + \varepsilon_i \end{aligned}$$

En general, la aplicación del modelo aditivo generalizado, ha permitido identificar las variables que influyen sobre el crecimiento de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera*, el cual está representado por las tasas de crecimiento del LT y el porcentaje de elongación diario del DMR. La elección del modelo aditivo generalizado (GAM), como herramienta para lograr identificar a las variables que influyen sobre el crecimiento de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera*, se ve justificado gracias a la capacidad que poseen estos modelos para lidiar con las diferentes familias de distribuciones (normal, binomial, poisson, binomial negativa, gamma, tweedie, etc.) que definen a los datos experimentales, y también al hecho de que estos modelos, logran combinar las prácticas tradicionales del modelado lineal con las del análisis de varianza – ANOVA (Guisan *et al.* 2002). Un factor importante a considerar al momento de formular el modelo aditivo, es la co-linealidad entre las variables independientes, ya que las variables que posean un mayor grado de correlación entre ellas, probablemente podrán parecer no significativas, cuando en realidad cada una explica una proporción significativa de la desviación, al considerarse de manera individual (Brauner y Shacham 1988 citados por Guisan *et al.* 2002). En ese sentido, en los análisis de correlación previos a la generación del modelo, se logra identificar correlaciones significativas entre la temperatura (-0.71) y los silicatos (0.60), en relación con los fosfatos (ver anexo 7 y 8). Por ello, no se incluyó a los fosfatos, en los modelos aditivos generados, ya que al estar correlacionado con la temperatura y los silicatos, generarían un problema de co-linealidad en los modelos aditivos generalizados. Asimismo, estudio realizados por IMARPE 2014, muestran que la interrelación entre las concentraciones de nitratos y fosfatos muestran una correlación lineal, lo cual estaría sesgando los modelos aditivos generalizados. Otra razón por la que no se incluyó a los fosfatos es que, si bien es cierto el fosforo es un elemento importante en la formación de ácidos nucleicos (ADN), proteínas y fosfolípidos (presentes en las membranas celulares), su rol más importante está en la generación de energía (ATP), fotosíntesis y respiración. En consecuencia, el fosforo no es el principal nutriente que limita el crecimiento de las macroalgas (Hurd *et al.* 2014). Por todo lo descrito, los fosfatos no fueron considerados

en los modelos aditivos generalizados (LT y DMR), aun cuando al analizarlo de forma individual y en relación con algunos parámetros oceanográficos, resultado matemáticamente significativo sobre el crecimiento de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera*.

En cuanto a las estructuras que permitieron cuantificar el crecimiento de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera*, (longitud total de la fronda - LT y diámetro mayor del rizoide – DMR), es necesario mencionar que cada una de ellas tuvo su nivel de dificultad al momento de realizar las mediciones. En los esporofitos juveniles (LT<150 cm y DMR<10cm), se logró obtener mediciones con menor porcentaje de error en comparación con los esporofitos adultos, ya que al ser de menor tamaño, fue menos trabajoso realizar la medición. Conforme fueron creciendo, el nivel de dificultad para realizar la medición fue en aumento, esto debido a que, por acción de las corrientes marinas, las frondas de los esporofitos adultos se enredan con frondas de esporofitos vecinos, lo que aunado al oleaje y condiciones ambientales poco favorables, producen pérdida de fronda y posterior desprendimiento de los esporofitos, generando así mediciones con un mayor porcentaje de error. Esta dificultad fue descrita por Lobban 1978 citado por Hernández-Carmona 1988, el cual menciona que las mediciones de crecimiento son extremadamente difíciles y además generan una gran variabilidad natural. En cambio, el rizoide de los esporofitos tiene cierta ventaja sobre la longitud total de la fronda, ya que al ser una estructura sólida, no sufre algún tipo de daño por parte del medio marino, que pueda generar una reducción en el tamaño del rizoide. Sin embargo, los rizoides al crecer cerca de otros rizoides se fusionan ocasionando un proceso de “coalescencia” entre individuos diferentes, lo que produce un sesgo en la medición del diámetro mayor del rizoide de los esporofitos y por ende es necesario dejar de monitorear a esos rizoides. Cabe mencionar que el crecimiento del rizoide no solo es en longitud, sino también en altura. Estudios realizados por Lobban 1978 citado por Hernández-Carmona 1988 y por Valérie 2007, hacen referencia que la orientación del crecimiento del rizoide, probablemente esté bajo el régimen de tres mecanismos: fototropismo negativo, geotropismo positivo y tigmotropismo, los cuales influyen en la orientación del crecimiento del rizoide. Cabe mencionar que ese tipo de crecimiento, no fue considerado en este estudio.

La talla media es una variable que explica, en un alto grado de la variabilidad, el crecimiento de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera* (p-valor = 3.8×10^{-16} , en el caso del LT y p-valor < 2×10^{-16} , para el DMR). En ese sentido, el modelo aditivo generalizado

del LT, sugiere que cuando la talla media está comprendida entre los 100 – 450 cm, el crecimiento de la fronda es más rápido en comparación con las demás tallas medias que puedan registrar los esporofitos. Para el caso del DMR, el modelo sugiere que cuando la talla media del DMR es menor a 10 cm, ocurre el crecimiento más rápido del diámetro del rizoide (ver figuras 32 y 33). En ambos casos (LT y DMR), los rangos de mayor crecimiento o de crecimiento más rápido, sugeridos por el modelo aditivo generalizado, coinciden con los rangos de crecimiento donde se reportó los valores más altos de tasa estándar de crecimiento (G) ($150 < LT < 300$ cm y $DMR < 10$ cm, ver figura 26 y 27). De esta manera, queda en evidencia lo descrito por North (1971) y Lobban (1978) (citado por Hernández-Carmona 1988), quienes mencionan que: “En ejemplares de *Macrocystis pyrifera*, las frondas aceleran su crecimiento a medida que aumentan su longitud”. Asimismo, el crecimiento acelerado del DMR ocurre cuando este es menor a 10 cm, esto probablemente se deba a una característica de fijación del esporofito, el cual busca primero ser estable en el sustrato para luego crecer rápidamente en longitud.

En gran parte del periodo de estudio, la zona del experimento estuvo caracterizada por presentar anomalías térmicas positivas (ver figura 13), atribuido al evento denominado “El Niño Costero” (ENFEN 2015, 2016). Debido a ello, los esporofitos estuvieron expuestos a condiciones cálidas, poco favorables para el crecimiento. Mediante el modelo aditivo se determinó que el rango de temperatura deberá ser menor a 17.8°C, para lograr las más altas tasas de crecimiento del LT. Este rango concuerda con los rangos propuestos por Zimmerman y Kremer (1986) y Deysher y Dean (1984, 1986), los cuales mencionan que para que el crecimiento sea constante, la temperatura deba estar en un intervalo entre 14.5°C a 18.5 °C y 11°C a 19°C. Zimmerman y Kremer (1986), mencionan que al superar este rango, el crecimiento disminuye linealmente con la temperatura. Cabe mencionar que los rangos de temperatura reportados por tales autores son para el Pacífico norte, donde las temperaturas son menores, a las registradas en este estudio. El rango de temperatura propuesta por el modelo aditivo, es respaldado, por las bajas temperaturas registradas, durante junio, julio y agosto 2016, de 16.5°C, 16.3°C y 15.8°C, respectivamente (ver figura 12). En esos meses se registraron las tasas de crecimiento más altas para la LT (6.4 cm/día, 3.3 cm/día y 4.3 cm/día, respectivamente). Según Hurd *et al.* 2014, la temperatura tiene efectos fundamentales en los procesos químicos que ocurren en las macroalgas como la actividad enzimática, la tasa de crecimiento, fotosíntesis, etc. Asimismo, Zimmerman y Robertson (1986), mencionan que durante los

eventos ENSO, las tasas de crecimiento de *Macrocystis pyrifera* se reducen, debido al estrés térmico ocasionado por las altas temperaturas (Edwards y Hernández – Carmona 2005). Por esta razón, es probable que las tasas de crecimiento registrado durante este estudio no representen a aquellas que se presentan en condiciones normales.

La salinidad registrada, para el periodo de estudio, mostro la presencia de dos masas de aguas bien definidas: Las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) y las Aguas Costeras Frías (ACF) (Zuta y Guillen 1970, Swartzman *et al.* 2008 y Morón 2011), cada una con sus respectivas propiedades físicas y químicas. De acuerdo al modelo aditivo, el rango óptimo de concentración de salinidad que favorece al crecimiento del diámetro mayor del rizoide, estuvo comprendido entre: 34.4 y 35.1 Ups. Este rango, define en primer lugar a las ACF (34.8 – 35.1 Ups), como la masa de agua de mayor importancia sobre el crecimiento de DMR. Esta masa de agua concuerda con los requerimientos abióticos de *Macrocystis pyrifera* (ver tabla 1), debido a que es una masa de agua rica en nutrientes y está asociado a los procesos de afloramiento (Zuta y Guillen 1970 e IMARPE 2014). Cabe mencionar que en junio 2015, ocurrió una disminución de la salinidad (ver figura 14), lo cual indicaría que hubo mezcla de aguas en la zona de estudio, producto del afloramiento en la zona costera. Por tal motivo, el rango de salinidad comprendido entre 34.4 – 34.8 Ups, estaría dentro de los requerimientos abióticos de *Macrocystis pyrifera*, ya que esa salinidad es característica de las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES). Sin embargo, es preciso mencionar que si bien existen salinidades óptimas para los diversos procesos químicos que ocurren en las macroalgas, todas ellas están ligadas a los niveles de temperatura y varían de una especie de macroalga a otra, tal como lo sostiene Hurd *et al.* 2014.

La concentración de nutrientes (fosfatos, nitratos y silicatos), está fuertemente relacionado con las masas de agua y con los procesos de afloramiento que puedan ocurrir en la zona de estudio. Debido a ello, se asocia las altas concentraciones nutrientes a la presencia de las ACF y las bajas concentraciones a la presencia de las ASS (Zuta y Guillén 1970 e IMARPE 2014). De acuerdo a los resultados del modelo aditivo generalizado, los nutrientes que favorecieron al crecimiento del LT y DMR, son los nitratos y silicatos. En ambos casos, se obtuvo concentraciones muy similares para el LT y DMR. Los rangos óptimos del nitrato están entre 6 – 12 μ mol/l y >12 μ mol/l, para LT y DMR, respectivamente, mientras que las concentraciones de silicatos, los rangos fueron >12 μ mol/l y entre 6 – 12 μ mol/l para el LT y DMR, respectivamente. Si bien es cierto, el

termino nutriente engloba a los nitratos, silicatos y fosfatos (cada uno con sus propias actividades y funciones metabólicas en los esporofitos), difícilmente se puede separar el efecto que tiene cada uno de ellos sobre las funciones fisiológicas de los esporofitos (Hurd *et al.* 2014). Zimmerman y Kremer (1986), mencionan, que las tasas de crecimiento promedio de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera* disminuyeron, cuando las concentraciones de nitratos en la columna de agua fueron menores a 1.5 μ mol/l. Asimismo, alcanzan su máximo valor por encima de los 2 μ mol/l y luego de ello el crecimiento se vuelve constante (ver figura 6). Aunado a ello, es difícil separar los efectos de los nutrientes y la temperatura sobre el crecimiento, ya que estos están altamente correlacionados (Zimmerman y Kremer 1986). En cuanto a los registros obtenidos de las concentraciones de nitratos, con excepción de mayo-2015, todos los registros superaron los 2 μ mol/l, llegando a registrar valores elevados (19.93 μ mol/l, setiembre-2015, ver figura 18), los cuales indicarían que durante todo el periodo de estudio la concentración de nitratos disponible en el medio marino fue lo suficientemente estable, como para mantener el crecimiento de los esporofitos. En consecuencia, en todos los meses que duro el experimento siempre se registró tasas de crecimiento del LT y DMR (ver figuras 22 y 24), aun cuando las condiciones para el crecimiento no fueron favorables (evento “El Niño Costero”). Por otro lado, los silicatos (Si) son de gran importancia desde el punto de vista biológico ya que son utilizados por las algas y otros organismos marinos (Morón 2000 e IMARPE 2014). Estudios realizados por DeBoer (1981) citado por Hurd *et al.* 2014, menciona que existen diferentes elementos esenciales que requieren todas las algas (C, H, O, N, Mg, Co, Zn y Cu) y solo el Na, Co, Se, Si, Cl, B, y I, son requeridos por algunas de ellas. Kizzevetter *et al.* 1981 citado por Mogollón 2016, mencionan que las algas pardas contienen Silicio (Si) en una cantidad de 5 – 6 mg/kg, lo cual indicaría la importancia de los silicatos en las algas pardas. En este estudio, las concentraciones de silicatos (ver figura 17), aparentemente siempre estuvieron por encima de los niveles requeridos para sostener el crecimiento. Sin embargo, se necesita realizar más estudios, sobre el rol de los silicatos en las algas pardas (sobre todo en *Macrocystis pyrifera*), ya que permitiría dilucidar, los requerimiento mínimos y las funciones específicas de los silicatos (Si) en la fisiología de los esporofitos.

Finalmente, el pH, el cual no resulto significativo sobre el crecimiento, registro un valor promedio de 7.82 para todo el periodo de estudio (exceptuando mayo-2015, 8.39, ver figura 15). Según León *et al.* 2011, el pH, es un buen trazador de la variabilidad

oceanográfica, lo cual evidencia que, al ser poco variable durante casi todo el periodo de estudio, las condiciones oceanográficas no sufrieron cambios muy drásticos, lo cual probablemente permitió el crecimiento de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera*. Cabe mencionar que las altas concentraciones de pH están relacionadas con las masas de aguas cálidas, con bajas concentraciones de nutrientes y viceversa (León *et al.* 2011).

4.5.- Ecuación teórica de crecimiento

Por todo lo descrito en los capítulos anteriores, presuntamente el rizoide de *Macrocystis pyrifera* es la estructura que permita estimar eficientemente el crecimiento de esta alga, debido a que es una estructura sólida, la cual no sufre pérdida de su estructura (Graham *et al* 2007). Se consideró al crecimiento del DMR como una función exponencial, ya que al observar la variación de la talla media del DMR (ver figura 21), la curva de crecimiento del DMR de otra kelp (*Lessonia nigrescens*) observada en el trabajo de Vásquez y Tala 1995 y al realizar un seguimiento individual del crecimiento del DMR (análisis previo), se observó un crecimiento de tipo exponencial en sus primeras fases de vida (DMR<20). En ese sentido, se formuló una ecuación teórica exponencial del crecimiento del diámetro mayor del rizoide (DMR), la cual se detalla en la tabla 14:

Tabla 14. Resultado de la ecuación teórica exponencial de crecimiento para el DMR

Formula:	$DMR(f) = exp^{(a+b*DMR(i)+c*Tiempo)}$
----------	--

Coefficiente Paramétrico:	Estimado	Error Estándar	T-valor	Pr (> t)	Significancia
Coefficiente “a”	1.66548	0.04273	38.974	<2 x 10 ⁻¹⁶	***
Coefficiente “b”	0.06655	0.00171	38.908	<2 x 10 ⁻¹⁶	***
Coefficiente “c”	0.00118	0.00077	1.534	0.126	

Error estándar residual = 2.39 ; Grados de libertad = 291
Significancia: 0 ***, 0.001 **, 0.01 *, 0.05 ‘.’

Al calcular los coeficientes (a, b y c), se logró estimar los diámetros mayores del rizoide teóricos y se evaluó el grado de correlación lineal que tienen estos diámetros estimados con los diámetros reales, obteniendo un valor de correlación de Spearman de 0.93 (t = 41.496; GL = 292; P-valor<2 x 10⁻¹⁶). En la figura 34, se observa la relación lineal entre los diámetros mayores de los rizoides (reales y teóricos), donde se obtuvo una relación altamente significativa (R² = 0.86). Cabe mencionar, que el rango donde se obtuvo el

mejor ajuste, estuvo comprendido entre los 5 - 20 cm del DMR, esto probablemente se deba a que en dicho rango de tallas, el crecimiento del rizoide es más rápido en comparación con otros rangos de tallas, por ende el crecimiento del DMR se ajustaría a un crecimiento exponencial (ver figura 27, y ver los valores de tasa estándar de crecimiento (G)). Aunado a ello, en dicho rango de tallas se concentró más del 89% de los datos evaluados.

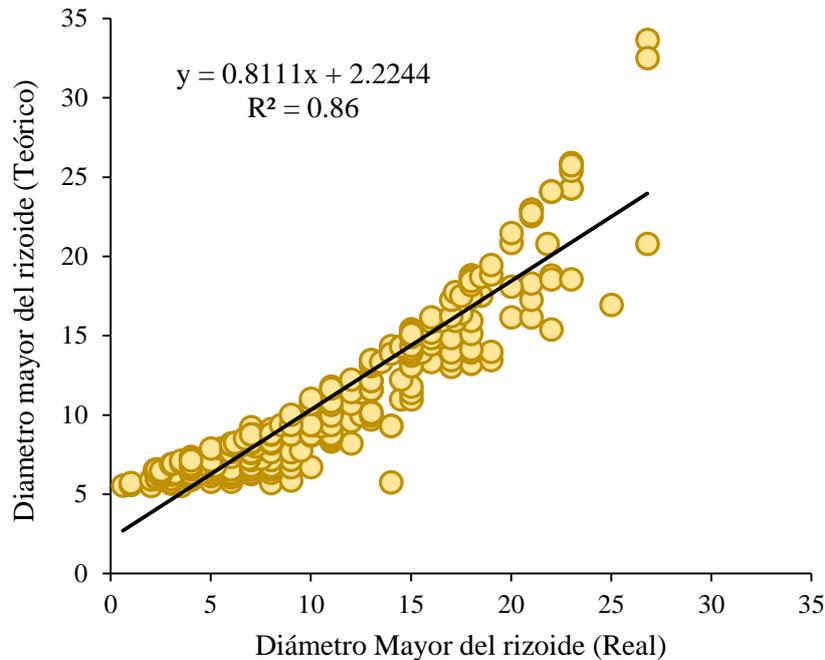


Figura 34. Relación lineal entre el diámetro mayor del rizoide real versus diámetro mayor del rizoide teórico.

Ante todo lo expuesto, se obtiene la siguiente expresión:

$$DMR(f) = \exp^{(1.6655+0.067*DMR(i)+0.0012*Tiempo)}$$

Que al linealizar, sería:

$$\ln(DMR_f) = 1.6655 + 0.067 * DMR_i + 0.0012 * Tiempo$$

Si bien es cierto, esta ecuación no incluye los parámetros de crecimiento convencionales “k” y “to”, los cuales tienen una gran importancia en el estudio del crecimiento, cabe mencionar que según lo observado en la figura 34, probablemente esta ecuación sea de mucha utilidad cuando se desee estimar el crecimiento del DMR del alga, después de un primer marcaje, ya que muestra un alto grado de predicción al momento de utilizarla con los datos obtenidos en campo. Finalmente, esta ecuación es presentada como una primera propuesta que permita servir como base para futuras investigaciones del crecimiento en algas.

V.- CONCLUSIONES

1. Las tasas de crecimiento diario (cm/día), de la longitud total de la fronda (LT), y del diámetro mayor del rizoides (DMR), presentaron una alta variabilidad, en los diferentes meses evaluados, registrando valores desde 0.02 cm/día (agosto-2015) hasta 6.43 cm/día (junio-2016), y de 0 cm/día (en todos los meses del experimento) hasta 0.23 cm/día (agosto-2016), para el LT y DMR, respectivamente.
2. Se registraron diferencias significativas en la variación mensual del crecimiento de la longitud de la fronda, cuando $LT < 150$ cm y también se registraron diferencias significativas, en el primer rango de tallas del DMR ($DMR > 10$ cm). Asimismo, el rango de tallas, que registro un mayor crecimiento (tasas estándar de crecimiento (G)), fue cuando el $150 < LT < 300$ cm ($G = 0.17$) y cuando el $DMR < 10$ cm ($G = 0.041$).
3. No se registró una correlación lineal altamente significativa entre los parámetros oceanográficos y las tasas de crecimiento del LT y el porcentaje de elongación del DMR. Sin embargo, se encontró correlaciones significativas entre la: Temperatura y salinidad (-0.63), temperatura y fosfatos (-0.71), salinidad y nitritos (-0.71) y fosfatos y silicatos (0.60).
4. Los parámetros oceanográficos que influenciaron significativamente sobre el crecimiento del LT, fueron los nitratos ($6 - 12 \mu \text{ mol/l}$), los silicatos ($> 12 \mu \text{ mol/l}$) y la temperatura ($< 17.8 \text{ }^\circ\text{C}$). Mientras que para el crecimiento del DMR fueron, la salinidad (34.4 -35.1 Ups), los nitratos ($> 12 \mu \text{ mol/l}$) y los silicatos ($6 - 12 \mu \text{ mol/l}$).
5. Se registró una correlación lineal altamente significativa entre los diámetros de los rizoides reales y los diámetros de los rizoides teóricos que cuales fueron propuestos por la ecuación teórica de crecimiento exponencial.

VI.- RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios con evaluaciones de Campo con una mayor frecuencia e intervalos de tiempo más cortos (cada 15 días), con la finalidad de registrar las tasas de crecimiento con mayor precisión.
2. Se recomienda para este tipo de estudios usar sensores de campo que registren y almacenen datos diarios de los parámetros oceanográficos.
3. Se recomienda replicar el presente trabajo en condiciones “normales”, ya que el presente estudio estuvo bajo la influencia del evento denominado “El Niño Costero”.
4. Se recomienda que al realizar estudios de crecimiento en el futuro, hacer énfasis en el crecimiento del DMR, ya que al ser una estructura sólida y crecer en más de una dimensión (largo, ancho y alto), probablemente permita estimar de una manera más confiable la edad de los esporofitos.

VII.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

- Acleto, C. 1986. Algas marinas del Perú de importancia económica. UNMSM - Museo de Historia Natural. Serie de Divulgación 5: 107 pp.
- Adami, M.L. y Gordillo S. 1999. Structure and dynamics of the biota associated with *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta) from the Beagle Channel, Tierra del Fuego. *Scientia Marina* 63-1: 183-191.
- Arntz, W. and Fahrbach, E. (1996): El Nino Experimento climático de la naturaleza Causas físicas y efectos biológicos. Trad. de C. Wosnitza-Mendo, J. Mendo. Fondo de Cultura Económica, Mexico , 312 p.
- Astorga, M.P., Hernández, C.E., Valenzuela, C.P., Avaria-Llautureo, J., y Westermeier, R. 2012. Origin, diversification, and historical biogeography of the giant kelps genus *Macrocystis*: Evidences from Bayesian phylogenetic analysis. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 47: 573-579.
- Bendschneider, K. y Robinson, R. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrate in sea water. *J. Mar. Res.*, 11(1): 87 – 96
- Brauner, N., Shacham, M., 1998. Role of range and precision of the independent variable in regression of data. *Am. Inst. Chem. Eng. J.* 44, 603_/611. Fuente citada: Guisan, A., Edwards, T. C. y Hastie T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: Setting the scene. *Ecological Modelling* 157 (2002) 89 – 100. El Sevier.
- Brown, M.T., Nyman, M.A., Keogh, J.A. y Chin, N.K.M. 1997. Seasonal growth of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* in New Zealand. *Marine Biology* 129, 417–424.
- Buschmann, A. H., Vaquez, J., Osorio, P., Reyes, E., Filun, L., Hernandez-González, M. C. *et al.* 2004. The effect of water movement, temperature and salinity on abundance and reproductive patterns of *Macrocystis spp.* (Phaeophyta) at different latitudes in Chile. *Marine Biology* 145:849–862.
- Buschmann, A., Prescott, S., Potin, P., Faugeton, S., Vásquez, A., Camus, C., Infante, J., Hernández-González, M. C., Gutiérrez, A. y Varela, D. 2014. The status of kelp exploitation and marine agronomy, with emphasis on *Macrocystis pyrifera*, in Chile.
- Cabrero, Y. y García, A. 2015. Análisis estadístico de datos espaciales con QGIS y R. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Carbajal, P. 2004. La oceanografía y los recursos pesqueros del mar peruano. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Carbajal, P. 2013. Estructura y composición de la comunidad de invertebrados macrobentónicos asociados a praderas de algas pardas laminariales frente a la costa del Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Cavalier-Smith, T. 2010. Kingdoms Protozoa and Chromista and the eozoan root of the eukaryotic tree. *Biology Letters* 6:342–345.
- Christie, H., Jørgensen, N.M., Norderhaug, K.M., 2007. Bushy or smooth, high or low; importance of habitat architecture and vertical position for distribution of fauna on kelp.

Journal of Sea Research 58, 198–208.

Coyer, J. A., Smith, G. J. y Andersen, R. 2001. Patterns of *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyceae) evolution and biogeography as determined by ITS1 and ITS2 sequences. *Journal of Phycology* 37: 574-585.

Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23, 371–393.

Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M. y Guajardoba, C. 2000. Uso de harina de kelp (*Macrocystis pyrifera*) en alimentos para camarón. *Avances en Nutrición Acuícola V.* (Eds. Cruz- Suárez, L. E., D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M.A. Olevera-Nova. y R. Civera-Cerecedo), pp. 19-22. *Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, Mérida, Yucatán.*

Dayton, P.K., Tegner, M.J., Parnell, P.E. y Edwards, P.B. 1992. Temporal and spatial patterns of disturbance and recovery in a kelp forest community. *Ecological Monographs* 62, 421–445.

Dayton, P.K. y Tegner, M.J. 1984. Catastrophic storms, El Niño, and patch stability in a southern California kelp community. *Science* 224, 283–285. Fuente citada: Graham, M., Vásquez, J. y Buschmann, A. 2007. *Global Ecology of the Giant Kelp *Macrocystis* : From Ecotypes To Ecosystems.* *Oceanography and Marine Biology* 45: 39-88.

DeBoer, J. A. 1981. Nutrients. In C. S. Lobban and M. J. Wynne (eds), *The Biology of Seaweeds* (pp. 356-91). Oxford: Blackwell Scientific. (2.3.4, 2.6.2, 6.1.1, 6.1.2, 6.4.2, 6.5.1, 6.5.2, 6.7.2, 6.8.1, 6.8.2). Fuente citada: Hurd, C., Harrison, P., Bischof, K. y Lobban, C. 2014. *Seaweed Ecology and physiology.* Second edition. Cambridge University Press.

Delignette-Muller, M.L. y Dutang, C. 2015. Fitdistrplus: An R Package for fitting distributions. *Journal of Statistical software*, 64(4), 1-34. Consultado el 30 de setiembre del 2018. Disponible en URL: <http://www.jstatsoft.org/v64/i04/>.

Deysher, L.E. & Dean, T.A. 1984. Critical irradiance levels and the interactive effects of quantum irradiance and dose on gametogenesis in the giant kelp *Macrocystis pyrifera*. *Journal of Phycology* 20, 520–524. Fuente citada: Graham, M., Vásquez, J. y Buschmann, A. 2007. *Global Ecology of the Giant Kelp *Macrocystis* : From Ecotypes To Ecosystems.* *Oceanography and Marine Biology* 45: 39-88.

Deysher, L. E. y Dean, T. A. 1986. In situ recruitment of sporophytes of the giant kelp, *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh: effects of physical factors. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 103:41–63. Fuente citada: Graham, M., Vásquez, J. y Buschmann, A. 2007. *Global Ecology of the Giant Kelp *Macrocystis* : From Ecotypes To Ecosystems.* *Oceanography and Marine Biology* 45: 39-88.

DHN. Dirección de Hidrografía y Navegación. Consultado 24 de Mayo del 2018. Disponible en: <https://www.dhn.mil.pe/>.

Dunn, P. 2015. Package “tweedie” versión 2.2.1. Consultado el 30 de setiembre del 2018. Disponible en URL: <http://www.r-project.org/package=tweedie>

Edwards M.S., Hernández–Carmona G. Delayed Recovery of Giant Kelp Near its Southern Range Limit in the North Pacific Following "El Niño". *Marine Biology*, 147(1):273–279, mayo 2005.

Eldin, G., Rodier, M., Radenac, M.H., 1997. Physical and nutrient variability in the upper equatorial Pacific associated with westerly wind forcing and wave activity in October 1994, *Deep-Sea Res.* 44, 1783 – 1800. Fuente citada: Morón, O. 2011. Climatología de la salinidad superficial del mar frente a la costa peruana. 1960 – 2008. Instituto del Mar del Perú. Informe ISSN 0378 -7702. Volumen 38, Número 1.

ENFEN 2015. Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño”. Comunicados Oficiales N°2, 7, 8 – 22 (en línea). Consultado el 15 mayo del 2017. Disponible en: https://www.dhn.mil.pe/comunicado_oficial_enfen

ENFEN 2016. Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño”. Comunicados Oficiales N° 1-7 (en línea). Consultado el 15 mayo del 2017. Disponible en: https://www.dhn.mil.pe/comunicado_oficial_enfen

Flores R., M. Espino, G. Luque & J. Quispe. 2013. Patrones de variabilidad ambiental en el mar peruano. En: Csirke J., R. Guevara-Carrasco & M. Espino (Eds.). *Ecología, pesquería y conservación del jurel (Trachurus murphyi) en el Perú*. Rev. Perú. biol. Número especial 20(1): 021 – 028 (Septiembre 2013)

Foster, M.S. y Schiel, D.R. 1992. Zonation, El Niño disturbance, and the dynamics of subtidal vegetation along a 30 m depth gradient in two giant kelp forests. *Proceedings of the International Temperate Reef Symposium 2*, 151–162. Fuente citada: Graham, M., Vásquez, J. y Buschmann, A. 2007. Global Ecology of the Giant Kelp *Macrocystis* : From Ecotypes To Ecosystems. *Oceanography and Marine Biology* 45: 39-88.

Fox, J. y Weisberg, S. 2011. *Companion to applied regression*, second edition. Thousand Oaks CA: Sage. Visitado el 30 de setiembre del 2018. Disponible en URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>.

Graham, M. H., Harrold, C., Lisin, S., Light, K., Watanabe, J. M. y Foster, M. S. 1997. Population dynamics of giant kelp *Macrocystis pyrifera* along a wave exposure gradient. *Marine Ecology Progress Series* 148: 269-279.

Graham, M. H. 2002. Prolonged reproductive consequences of short-term biomass loss in seaweeds. *Marine Biology* 140:901–911.

Graham, M., Vásquez, J. y Buschmann, A. 2007. Global Ecology of the Giant Kelp *Macrocystis* : From Ecotypes To Ecosystems. *Oceanography and Marine Biology* 45: 39-88.

Gerard, V. A. 1982. Growth and utilization of internal nitrogen reserves by the giant kelp *Macrocystis pyrifera* in a low-nutrient environment. *Marine Biology* 66:27–35.

González-Fragoso, J., Ibarra-Obando, S.E. & North, W.J. 1991. Frond elongation rates of shallow water *Macrocystis pyrifera* (L.) Ag. in northern Baja California, México. *Journal of Applied Phycology* 3, 311–318.

- Guisan, A., Edwards, T. C. y Hastie T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: Setting the scene. *Ecological Modelling* 157 (2002) 89 – 100. El Sevier.
- Guisande, C., Barreiro, A., Maneiro, I., Riveiro, I., Vergara, R. y Vaamonde, A. 2006. Tratamiento de datos. España.
- Gutiérrez, H. y De la Vara, R. 2008. Analisis y diseño de experimentos. Segunda Edición. Mc Graw-Hill Interamericana.
- Hastie, T.J., Tibshirani, R.J., 1986. Generalized additive models. *Stat. Sci.* 1, 297/318.
- Hastie, T.J., Tibshirani, R.J., 1990. *Generalized Additive Models*. Chapman y Hall.
- Hay, C. H. 1986. A new species of *Macrocystis* C.Ag. (Phaeophyta) from Marion Island, southern Indian Ocean. *Phycologia* 25: 241–52.
- Hernández-Carmona, G. 1988. Evaluacion, crecimiento y regeneracion de mantos de *Macrocystis pyrifera* en la costa occidental de la peninsula de Baja California, Mexico.
- Hernández-Carmona, G. 1996. Tasas de elongación de frondas de *Macrocystis pyrifera*(L.) AG.en Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 22(0185-3880): 57-72.
- Huovinen, P., Penttila, H. y Soimasuo, M. 2000. Penetration of uv radiation into finnish lakes with diferrent characteristics. *Original research* 59/2000.
- Hurd, C., Harrison, P., Bischof, K. y Lobban, C. 2014. *Seaweed Ecology and physiology*. Second edition. Cambridge University Press.
- IMARPE. Instituto del Mar del Perú. 2007. IMARPE: *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh 1820 (en linea, sitio web). Consultado 5 de mayo 2017. Disponible en: http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/macro_algas/arch_macroal/Macrocystis.pdf
- IMARPE. Instituto del Mar del Perú. 2008. Situación actual de las praderas de las macroalgas marinas en el litoral costero de la región de Arequipa. Octubre – Noviembre. IMARPE Ilo. Informe interno.
- IMARPE. Instituto del Mar del Perú. 2012. Informe ISSN 0378 – 7702. Volumen Extraordinario. Estudios sobre macroalgas pardas en el sur del Perú. 2011 -2015.
- IMARPE. Instituto del Mar del Perú. 2014. Boletín ISSN 0458 – 7766. Volumen 29, Números 1 – 2, Enero – Diciembre 2014.
- Jackson, G.A. 1987. Modeling the growth and harvest yield of the giant kelp *Macrocystis pyrifera*. *Marine Biology* 95, 611–624.
- Jackson, G. A. 1977. Nutrients and production of giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, off southern California. *Limnology and Oceanography* 22:979–995.
- Jiménez-Escrig, A., Goñi-Cambrodon, I., 1999. Nutritional evaluation and physiological effects of edible seaweeds. *Arch Latinoam Nutr.*, 49(2), 114-120.
- Kinlan, B.P., Graham, M.H. y Erlandson, J.M. 2005. Late-quaternary changes in the size and shape of the California Channel Islands: implications for marine subsidies to terrestrial communities. *Proceedings of the California Islands Symposium* 6, 119–130.

Kizevetter I. V., G. V. (1981). Procesamiento de algas marinas y otras plantas acuáticas comerciales (en ruso). Moscú: Pishevaya Promyshlennostj. Fuente citada: Mogollón, E., 2016. Evaluación del potencial químico de las algas pardas como fuente de ácido alginico. Universidad Nacional de Ingeniería – UNI. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico.

Kopczak, C.D., Zimmerman, R.C. y Kremer, J.N. 1991. Variation in nitrogen physiology and growth among geographically isolated populations of the giant kelp, *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta). *Journal of Phycology* 27, 149–158.

Kovalenko, I., Zdyrko, B., Magasinski, A., Hertzberg, B., Milicev, Z., Burtovyy, R., et al. (2011). A major constituent of brown algae for use in high-capacity Li-ion batteries. *Science*, 334, 75–79.

Lawrence J.M., Olave, S., Otaiza, R., Lawrence, A. L., Bustos, E., 1997. Enhancement of gonad production in the sea urchin *Loxechinus albus* in Chile fed extruded feeds. *Journal of the World Aquaculture Society* 28(1), 91-96

León, V., Paulmier, A., Ledesma, J., Croot, P., Graco, M., Flores, G., Morón, O. y Tenorio, J. 2011. pH como un trazador de la variabilidad biogeoquímica en el Sistema de Humboldt. Instituto del Mar del Perú. Boletín ISSN 0458 – 7766. Volumen 26, Números 1 y 2.

Lobban, C.S., 1978. The growth and death of the *Macrocystis* sporophyte (Phaeophyceae, Laminariales). *Phycologia* Canadá. 17(2):196-212. Fuente citada: Hernández-Carmona, G. 1988. Evaluación, crecimiento y regeneración de mantos de *Macrocystis pyrifera* en la costa occidental de la península de Baja California, México.

Lüning, K. y Neushul, M. 1978. Light and temperature demands for growth and reproduction of Laminarian gametophytes in southern and central California. *Marine Biology* 45:297–309. Fuente citada: Graham, M., Vásquez, J. y Buschmann, A. 2007. Global Ecology of the Giant Kelp *Macrocystis*: From Ecotypes To Ecosystems. *Oceanography and Marine Biology* 45: 39-88.

Macaya, E., Thiel, M. 2008. In situ test on inducible defenses in *Dictyota kunthii* and *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyceae) from the Chilean coast. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 354: 28-38.

Macaya, E. C., Zuccarello, G. C. 2010. DNA barcoding and genetic divergence in the giant kelp *Macrocystis* (Laminariales). *Journal of Phycology* 46(4): 736-742.

Maier, I., Müller, D.G., Gassmann, G., Boland, W. & Jaenicke, L. 1987. Sexual pheromones and related egg secretions in Laminariales (Phaeophyta). *Zeitschrift Naturforschung Section C Biosciences* 42, 948–954. Fuente citada: Schiel, D. y Foster, M. 2015. *The Biology and Ecology of Giant Kelp Forests*. California, University of California Press, 412.

Maier, I., Hertweck, C. & Boland, W. 2001. Stereochemical specificity of lamoxirene the sperm-releasing pheromone in kelp (Laminariales, Phaeophyceae). *Biological Bulletin (Woods Hole)* 201, 121–125.

Mansilla, A., Palacios, M., Plana, J., y Navarro, N., 2005. *Macrocystis pyrifera*, una nueva alternativa como aditivo en la alimentación de salmónidos. En Proyecto Fondef Producción de harina de macroalgas (*Macrocystis pyrifera*) y su utilización como

ingrediente para la alimentación de salmónidos en la Región de Magallanes y Antártica Chilena, Punta Arenas, Chile. 7pp.

Mendiburu, F. 2005. Análisis de Correlación. Universidad Nacional Agraria La Molina (en línea). Visitado el 15 marzo del 2018. Disponible en: <https://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/indexfiler/academic/metodos1/Regresion.pdf>

Mogollón, E., 2016. Evaluación del potencial químico de las algas pardas como fuente de ácido alginico. Universidad Nacional de Ingeniería – UNI. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico.

Morón, O. 2000. Características del ambiente marino frente a la costa peruana. Boletín Instituto del Mar del Perú 19(1-2): 179 – 204.

Morón, O. 2011. Climatología de la salinidad superficial del mar frente a la costa peruana. 1960 – 2008. Instituto del Mar del Perú. Informe ISSN 0378 -7702. Volumen 38, Número 1.

Mullin, J. B. y Riley, J. P. 1955. The spectrophotometric determination of nitrate in natural waters with particular reference to sea water. Vol. 12, pp. 464 – 80.

Murphy, J. y Riley, J. P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. 27. 27:31-36.

Neushul, M. 1963. Studies on the giant kelp *Macrocystis*. II. Reproduction. American Journal of Botany 50, 354–359. Fuente citada: Graham, M., Vásquez, J. y Buschmann, A. 2007. Global Ecology of the Giant Kelp *Macrocystis* : From Ecotypes To Ecosystems. Oceanography and Marine Biology 45: 39-88.

Neushul, M. 1971. The species of *Macrocystis* with particular reference to those of North and South America. Pp. 211–222. In North, W. J. (ed.), The Biology of Giant Kelp Beds (*Macrocystis*) in California. Nova Hedwigia 32. Verlag Von. J. Cramer, Lehre, Germany. Fuente citada: Schiel, D. y Foster, M. 2015. The Biology and Ecology of Giant Kelp Forests. California, University of California Press, 412.

Noodt, H. (1958). Beitrage zur Kenntnis der peruanischen Meeresalgen. I. Kieler Meeresforsch. 14: 167 – 174. Fuente citada: Acleto, C. 1986. Algas marinas del Perú de importancia económica. UNMSM - Museo de Historia Natural. Serie de Divulgación 5: 107 pp.

North, W.J. 1971. Growth of the individual fronds of the natural giant kelp, *Macrocystis*. In: W.J. North (ed.), The Biology of Giant Kelp Beds (*Macrocystis*) in California. Nova Hedwigia, 32: 123-168.

North, W. J., 1977. Evaluación manejo y cultivo de praderas de *Macrocystis*. En: Santelices, B. (ed.), Ecología de algas bentónicas. Efecto de factores ambientales. Actas I Symp. Algas Mar. Chilenas. Chile 75 – 128.

North, W.J. 1994. Review of *Macrocystis* biology. In Biology of Economic Algae, I. Akatsuka (ed.). Hague: Academic Publishing, 447–527.

Ortiz, J. 2011. Composición Nutricional y Funcional de Algas Rodofíceas Chilenas: *Macrocystis pyrifera* y *Durvillaea antarctica*. 2011: 1-32.

Palacios, M. y Mansilla, A. 2003. Desarrollo de gametofitos y esporofitos de *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agarrh (Laminariales: Lessoniaceae) de la Región de Magallanes en

condiciones de laboratorio. Anales del Instituto de la Patagonia Ex Serie Ciencias Naturales 31: 43-63.

Palacios Moncayo O., J. Caldas Vidal, C. Vela Velásquez. 1992. Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica 25-i, 25-j, 24-i, 24-j - INGEMMET. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín 43, 171 pp.

Pérez, J. y Llellish, M. 2015. Reptiles terrestres de la Isla San Lorenzo, Lima, Perú. Revista peruana de biología 22(1):119 – 122 (2015) ISSN-L 1561-0837.

Pérez-Matus A. y Shima J. 2010. Disentangling the effects of macroalgae on the abundance of temperate reef fishes. School of Biological Sciences and the Victoria University Coastal Ecology Lab (VUCCEL), P.O. Box 600, Victoria University of Wellington, New Zealand

Plana, J., Mansilla, A., Palacios, M. y Navarro, N. P. 2007. Estudio Poblacional De *Macrocystis Pyrifera* (L.) C. Agardh (Laminariales: Phaeophyta) En Ambientes Protegido Y Expuesto Al Oleaje En Tierra Del Fuego. Gayana (Concepción) 71(1): 66-75.

Prabhasankar, P., Ganesan, P., Bhaskar, N., Hirose, A., Stephen, N., Gowda, L. R., et al. (2009). Edible Japanese seaweed, wakame (*Undaria pinnatifida*) as an ingredient in pasta: chemical, functional and structural evaluation. Food Chemistry, 115, 501–508.

PRODUCE 2008. Ministerio de la producción. PRODUCE: Resolucion Ministerial: N° 839-2008-PRODUCE (en línea, sitio web). Consultado 28 de abril 2018. Disponible en: http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/macro_algas/arch_macroal/RESOLUCI%20N%20MINISTERIAL%20839%20%20PRODUCE.pdf

PRODUCE 2009. Ministerio de la producción. PRODUCE: Decreto Supremo: N° 019-2009-PRODUCE (en línea, sitio web). Consultado 29 de abril 2018. Disponible en: <http://rnia.produce.gob.pe/images/stories/archivos/pdf/decretos-supremos/decreto-supremo-n-019-2009-produce.pdf>

PRODUCE 2009. Ministerio de la producción. PRODUCE: Resolucion Ministerial: N° 264-2009-PRODUCE (en línea, sitio web). Consultado 28 de abril 2018. Disponible en: http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/macro_algas/arch_macroal/RESOLUCI%20N%20MINISTERIAL%20264%20%20PRODUCE.pdf

PRODUCE 2016. Ministerio de la producción. PRODUCE: Decreto Supremo: N° 007-2016-PRODUCE (en línea, sitio web). Consultado 28 de abril 2018. Disponible en: <http://rnia.produce.gob.pe/images/stories/archivos/pdf/decretos-supremos/decreto-supremo-n-019-2009-produce.pdf>

PRODUCE 2017. Ministerio de la producción. PRODUCE: Resolucion Ministerial: N° 163-2017-PRODUCE (en línea, sitio web). Consultado 30 de abril 2018. Disponible en: <http://www2.produce.gob.pe/dispositivos/publicaciones/rm163-2017-produce.pdf>

PROM PERÚ 2018. Visitado el 10 de setiembre del 2018. Disponible en: http://www.siicex.gob.pe/promperustat/frmPaises_x_Partida.aspx.

Revelle, W. 2018. Psych: Procedures for personality and psychological research, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA, Consultado el 30 de setiembre del 2018. Disponible en: <http://CRAN.R-project.org/package=psych> Version=1.8.10.

- Rodriguez, G. E., Rassweiler, A., Reed, D. C., and Holbrook, S. J. 2013. The importance of progressive senescence in the biomass dynamics of giant kelp (*Macrocystis pyrifera*). *Ecology* 94:1848–1858.
- Rosenthal, R.J., Clarke, W.D. y Dayton, P.K. 1974. Ecology and natural history of a stand of giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, off Del-Mar, California. *Fishery Bulletin* 72, 670–684. Fuente citada: Graham, M., Vásquez, J. y Buschmann, A. 2007. Global Ecology of the Giant Kelp *Macrocystis* : From Ecotypes To Ecosystems. *Oceanography and Marine Biology* 45: 39-88.
- Salvarría E. 2014. Analisis de la variabilidad genética de *Macrocystis spp.* (Laminariales) en la costa centro sur del Perú, empleando marcadores mitocondriales. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en ecología aplicada. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sanbonsuga, Y. y Neushul, M. 1978. Hybridization of *Macrocystis* (Phaeophyta) with other float-bearing kelps. *Journal of Phycology* 14:214–224.
- Santelices, B. y Ojeda, P. F. 1984. Population dynamics of coastal forest of *Macrocystis pyrifera* in Puerto Toro, Isla Navarino Southern Chile. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 14: 175 — 183.
- Schiel, D. y Foster, M. 2015. *The Biology and Ecology of Giant Kelp Forests*. California, University of California Press, 412.
- Smyth, G. Hu, Y., Dunn, P., Phipson, B., Chen, Y. 2016. Package “mgcv” versión 1.424. Vistado el 30 de setiembre del 2018. Disponible en URL: <http://cran-r.c3sl.ufpr.br/>
- Sparre, P., & Venema, S. (1997). *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales (Parte 1. Manual. Documento Técnico de Pesca N° 306. 1 Revisión 2. 420 pp.)*. Roma: FAO.
- Steneck, R.S., Graham, M.H., Bourque, B.J., Corbett, D., Erlandson, J.M., Estes, J.A., Tegner, M.J., 2002. Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environmental Conservation* 29, 436–459.
- Stoens, A. 1999. The coupled physical new production system in the equatorial Pacific during the 1992 – 1995. *El Niño, J. Geophys. Res.*, 104, 3323 – 3339. Fuente citada: Morón, O. 2011. *Climatología de la salinidad superficial del mar frente a la costa peruana. 1960 – 2008*. Instituto del Mar del Perú. Informe ISSN 0378 -7702. Volumen 38, Número 1.
- Strickland, J. D. H., Parsons, T. R. (1968). *A practical handbook of seawater analysis*. Fish. Res. Bd Canada Bull. 167, 311 pp.
- Strickland, J. D. H., Parsons, T. R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. Bull. Fish. Res. Bd Can. 167
- Strub, T. Mesias, J., Montecino, V., Rutllant, J. Salinas, S. 1998. Coastal ocean circulation off Western South America. In: Robinson, A. R., Brink, K. H. (Eds.), *The Sea, Vol II*. John Wiley, New York, pp. 273 – 314. Fuente citada: Swartzman, G., Bertrand, A., Gutiérrez, M., Bertrand, S. y Vasquez, L. 2008. The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983 to 2005. *Progress in Oceanography* 79 (2008) 228-237. El sevier.

Swartzman, G. 1997. Analysis of the summer distribution of fish schools in the Pacific Eastern Boundary Current. *ICES J. Mar. Sci.* 54, 1:106 -116.

Swartzman, G., Bertrand, A., Gutiérrez, M., Bertrand, S. y Vasquez, L. 2008. The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983 to 2005. *Progress in Oceanography* 79 (2008) 228-237. El sevier.

Tarazona, J., Paredes C., Romero L. y Guzmán S. 1988. La recolonización de las comunidades de miltilidos en la costa central del Perú después de El Niño 1982 – 83. *Ins. Mar Perú – Callao (Edición especial)*.

TRADE MAP 2018. ITC. Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas. ITC Trade Map (en línea, sitio web). Consultado el 5 de octubre del 2018. Disponible en: http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm=3|604|||121229||

Universidad de Alcalá 2005. Métodos de análisis de datos en ecología. Departamento de Ecología. Prácticas de Ecología. Licenciaturas de biología y ciencias ambientales. Curso 2004-2005.

Urquiza, W., Wornitza-Mendo, C., Valdivia, E. Moreno, C., 1987. Catálogo de datos Oceanográficos (T, S y O2) por estaciones del año en diferentes profundidades frente a la costa peruana. Periodo: 1970 – 1985. Informe del Instituto del Mar del Perú. Fuente citada: Swartzman, G., Bertrand, A., Gutiérrez, M., Bertrand, S. y Vasquez, L. 2008. The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983 to 2005. *Progress in Oceanography* 79 (2008) 228-237. El sevier.

Valérie, S. 2007. The Ecology and anchorage mechanics of Kelp holdfasts. The University of British Columbia.

Van Tüssenbroek, B.I. 1989. Seasonal growth and composition of fronds of *Macrocystis pyrifera* in the Falkland Islands. *Marine Biology* 100, 419-430. Fuente citada: Graham, M., Vásquez, J. y Buschmann, A. 2007. Global Ecology of the Giant Kelp *Macrocystis* : From Ecotypes To Ecosystems. *Oceanography and Marine Biology* 45: 39-88.

Vásquez, J., Tala, F., 1995. Repopulation of intertidal areas with *Lessonia nigrescens* in northern Chile. *Journal of Applied Phycology* 7: 347-349, 1995.

Vásquez, J.A. 1999. The effect of harvesting of brown seaweeds: A social, ecological and economical importance resource. *World Aquaculture Magazine* 31(1): 19-22.

Vasquez, J. 2008. Production, use and fate of Chilean brown seaweeds: re-sources for a sustainable fishery. Departamento de Biología Marina. Universidad Católica del Norte.

Vásquez, J. 2009. Estudio de investigación de poblaciones y de las condiciones de viabilidad ecológica de las actividades extractivas de algas pardas e invertebrados en la zona costera sur, en apoyo a la investigación y desarrollo del Instituto de Mar del Perú (IMARPE). 2009: 90.

Vásquez J., Piaget N. y Vega, A. 2012. The *Lessonia nigrescens* fishery in northern Chile: “How to harvest is more important than how much you harvest”. *Journal of Applied Phycology* 24: 417 – 426.

Vásquez, J. A., Zúñiga, S., Tala, F., Piaget, N., Rodríguez, D. C., & Vega, J. M. A. (2014). Economic evaluation of kelp forest in northern Chile: values of good and service of the

- ecosystem. *Journal of Applied Phycology*. <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-013-0173-6>.
- Vega, J., Vásquez, J. A. y Buschmann, A. H. 2005. Population biology of the subtidal kelps *Macrocystis integrifolia* and *Lessonia trabeculata* (Laminariales, Phaeophyceae) in an upwelling ecosystem of northern Chile: Interannual variability and El Niño 1997-1998. *Revista Chilena de Historia Natural* 78(1): 33-50.
- Venables, W. N. Y Ripley, B. D. 2002. *Modern applied statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0. Consultado el 30 de setiembre del 2018. Disponible en: <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/>.
- Westermeier, R. y Möller, P. 1990. Population Dynamics of *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh in the Rocky Intertidal of Southern Chile. *Botanica Marina* 33: 363-367.
- Womersley, H. B. S. 1954. The species of *Macrocystis* with special reference to those on south-ern Australian coasts. *University of California Publications in Botany* 27:109–132. Fuente citada: Schiel, D. y Foster, M. 2015. *The Biology and Ecology of Giant Kelp Forests*. California, University of California Press, 412.
- Wood, S. 2016. Package “mgcv” versión 1.8 – 12. Visitado el 30 de setiembre. Disponible en URL: <http://cran-r.c3sl.ufpr.br/>
- Zimmerman, R.C. y Kremer, J.N. 1986. In situ growth and chemical composition of the giant kelp, *Macrocystis pyrifera*: response to temporal changes in ambient nutrient availability. *Marine Ecology Progress Series* 27, 277–285.
- Zimmerman, R. C. y D. L. Robertson. 1985. Effects of El Niño on local hydrography and growth of the giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, at Santa Catalina Island, California. *Limnology and Oceanography* 30:1298–1302.
- Zuta S, Guillén O. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Bol. Inst. Mar Perú*. Vol. 2, N° 5: 157-324.

VIII.- ANEXOS

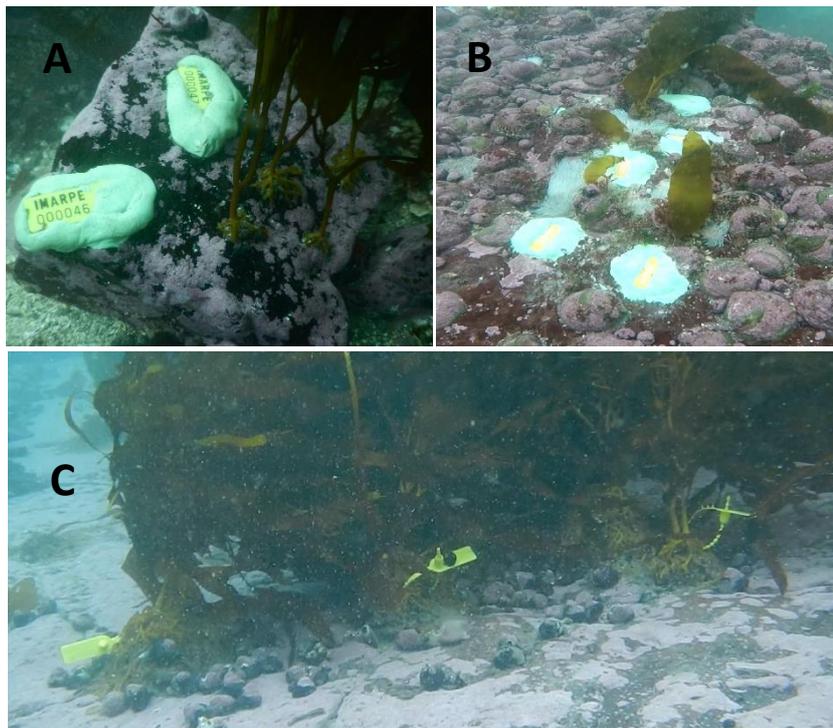
Anexo 1. Varamiento natural de macroalgas en la zona centro sur del Perú.



Anexo 2. Zona de estudio ubicada en la parte protegida de la Isla San Lorenzo.



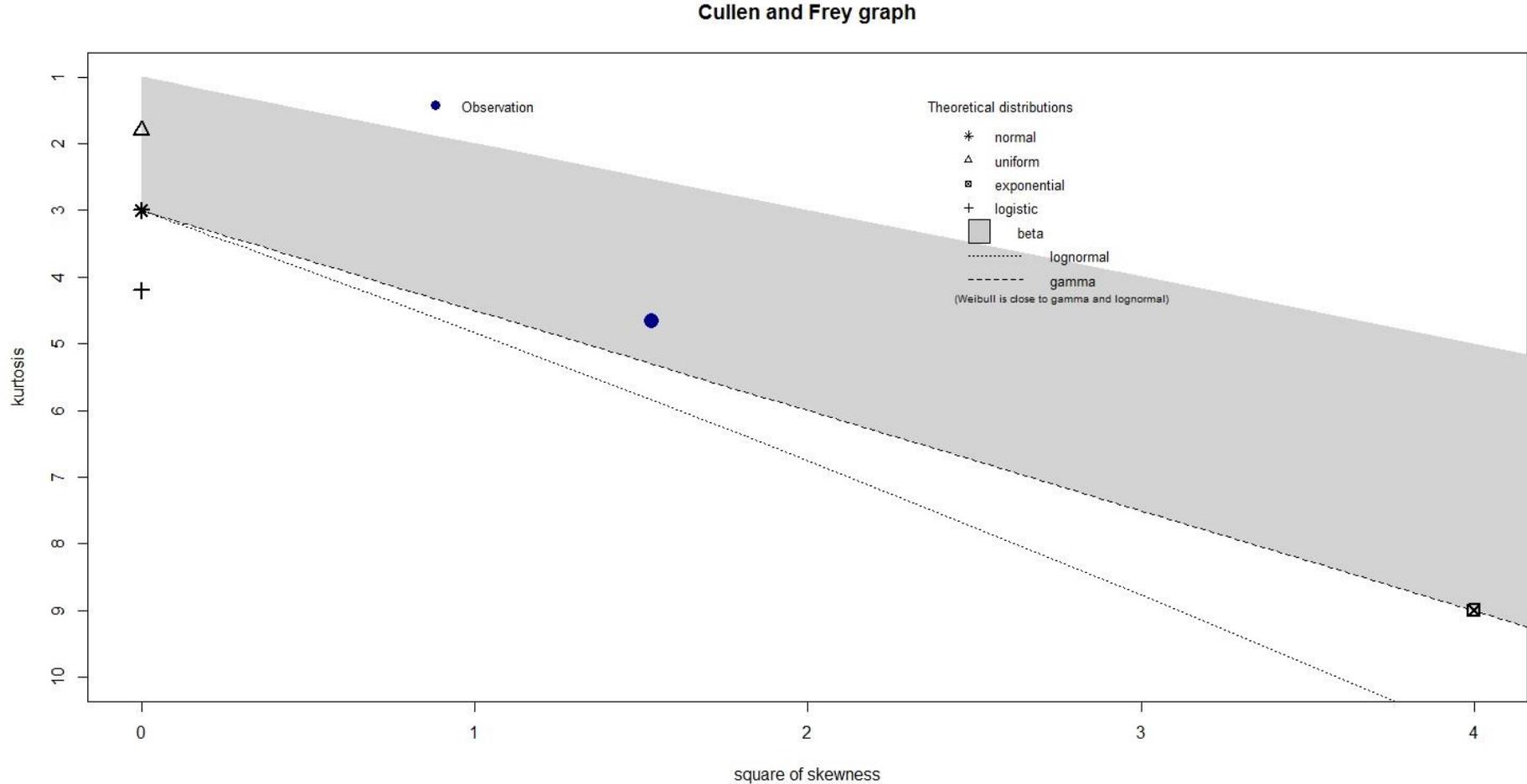
Anexo 3. Marcado de esporofitos (masilla y precinto).



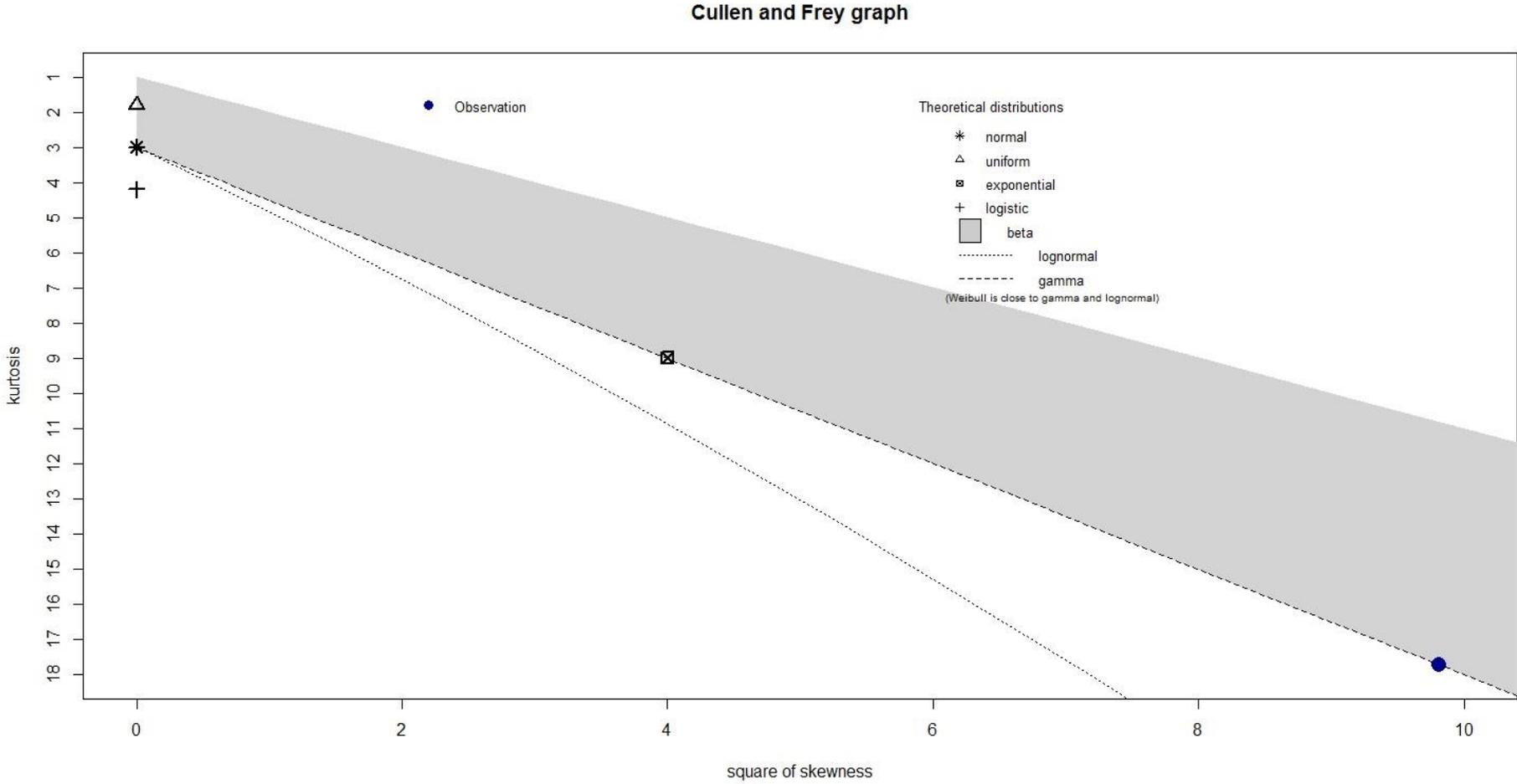
Anexo 4. Mediciones de longitud del LT y DMR.



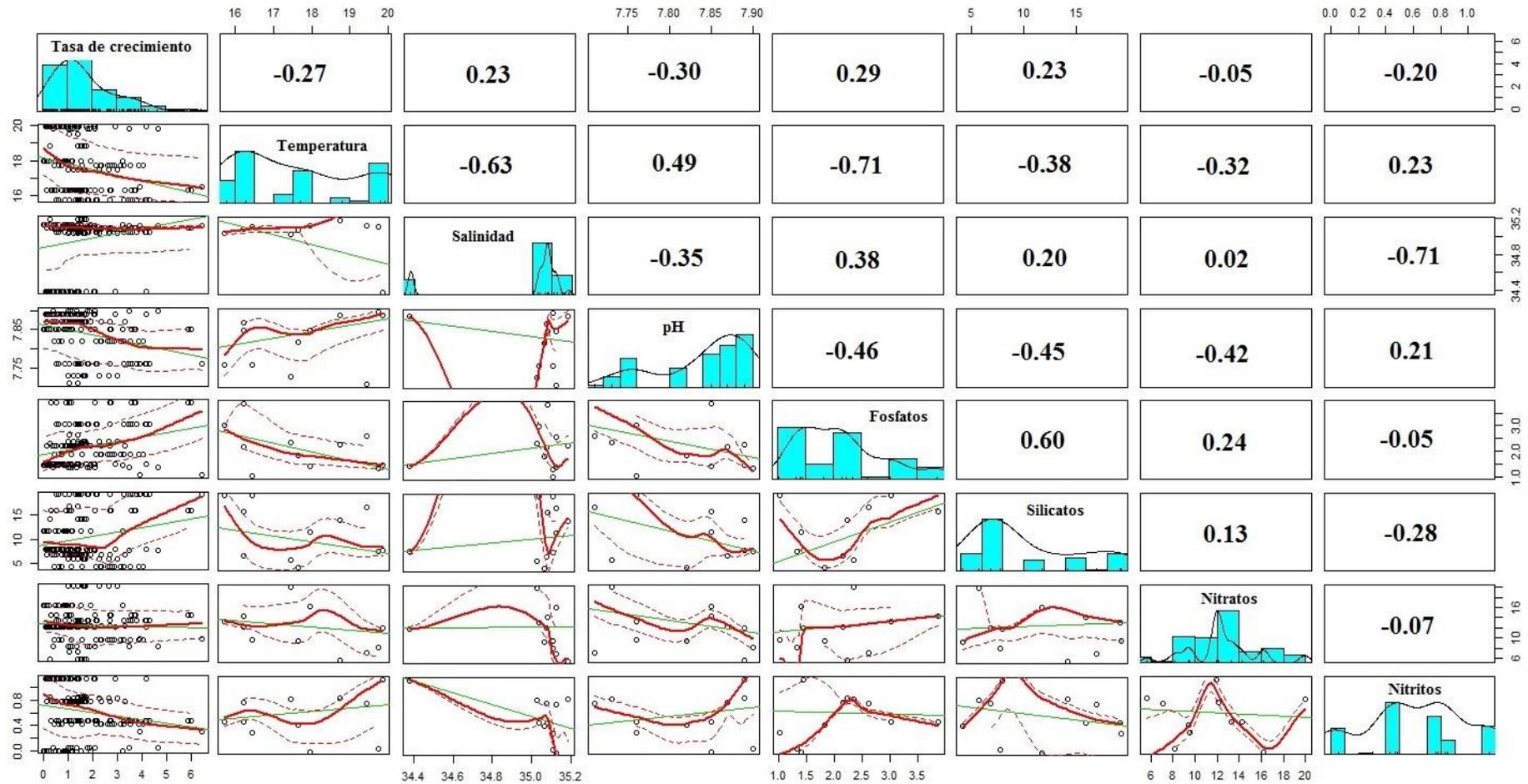
Anexo 5. Gráfico de Cullen y Frey para las tasas de crecimiento del LT.



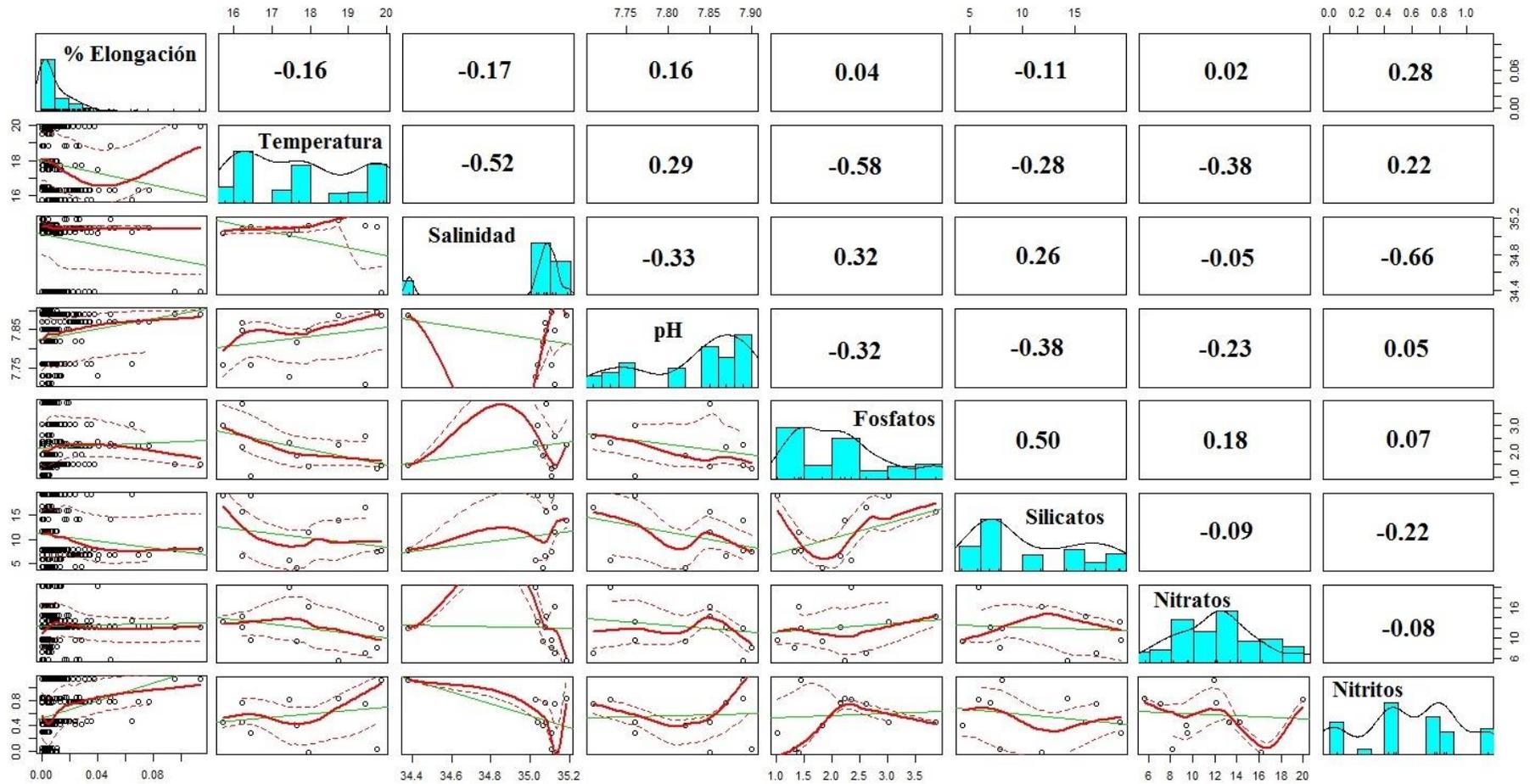
Anexo 6. Gráfico de Cullen y Frey para el porcentaje de elongación del DMR.



Anexo 7. Análisis de correlación entre las tasas de crecimiento del LT y los parámetros oceanográficos.



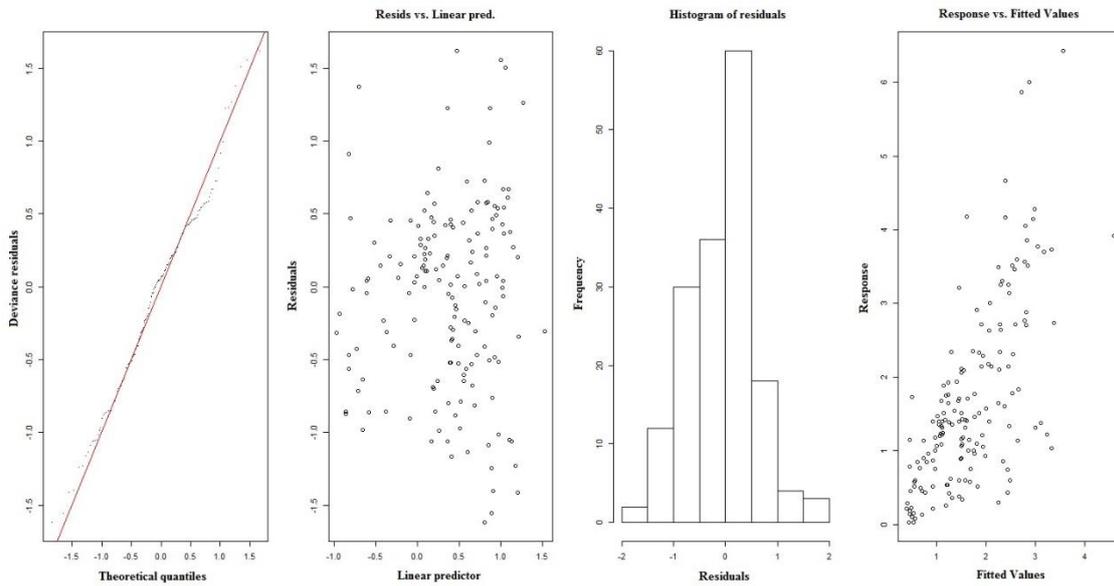
Anexo 8. Análisis de correlación entre el porcentaje de elongación diario del DMR y los parámetros oceanográficos.



Anexo 9. Coeficientes del modelo aditivo generalizado del LT.

Coeficientes	Talla Media	Temperatura	Silicatos	Nitratos
b_1	-0.1905	0.2954	-0.0793	0.4737
b_2	-0.1245	0.4323	-0.0214	0.2922
b_3	0.0691	0.0877	-0.124	0.1313
b_4	0.3153	-0.0853	-0.0147	0.1219
b_5	0.6879	-0.3143	0.0718	-0.5579
b_6	0.8541	-0.6144	0.1252	-0.3041
b_7	0.7305	-0.4912	0.1746	-0.3824
b_8	0.7354	-0.3501	0.2524	-0.4225
b_9	-0.1327	-0.3171	0.2982	-0.1572

Anexo 10. Supuestos del modelo aditivo generalizado del LT.



Anexo 11. Coeficientes del modelo aditivo generalizado del DMR.

Coeficientes	Talla Media	Temperatura	Silicatos	Nitratos
b_1	0.7153	0.2197	-0.1175	0.1451
b_2	0.4447	0.3376	-0.5402	0.1124
b_3	0.1523	0.4275	-0.6585	0.0497
b_4	0.1352	0.3228	-0.3172	0.0722
b_5	-0.2124	0.2690	-0.0607	-0.1285
b_6	-0.8571	-0.4742	-0.1341	-0.0519
b_7	-1.2536	-0.7336	0.0754	-0.1319
b_8	-1.7467	-0.7533	0.2410	-0.2313
b_9	-2.1860	-0.2875	0.4660	-0.4186

Anexo 12. Supuestos del modelo aditivo generalizado del DMR.

