



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**Estructura y dinámica poblacional de *Sargassum lapazeanum*
(Phaeophyceae, Fucales) del suroeste del golfo de California, México**

Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ciencias
con Especialidad en el Manejo de Recursos Marinos

Presenta:

Biol. Mar. Mónica Georgina Rivera

La Paz, Baja California Sur, México junio 2003



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 10:00 horas del día 13 del mes de Mayo del 2003 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

"ESTRUCTURA Y DINÁMICA POBLACIONAL DE *Sargassum lapazeanum* (PHAEOPHYCAE, FUCALES) DEL SUROESTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

RIVERA MÓNICA GEORGINA

Apellido paterno

materno

nombre(s)

Con registro:

A	9	9	0	0	4	9
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

DR. RICARDO A. SCROSATI

PRESIDENTE

DR. GUSTAVO HERNÁNDEZ CARMONA

SECRETARIO

MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO

SEGUNDO VOCAL

DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA

TERCER VOCAL

MC. IGNACIO SÁNCHEZ RODRÍGUEZ

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. FRANCISCO ARREGUÍN SÁNCHEZ



I. P. N.
CICIMAR
DIRECCION

“La uniformidad ortográfica.... es la base necesaria de la unidad de la lengua escrita en todos los países hispanos, frente a las tendencias diversificadoras del lenguaje oral.”

Real Academia Española de la Lengua

AGRADECIMIENTOS

En primer termino gracias al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) por darme el espacio para realizar un posgrado, al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) y Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el soporte económico brindado durante el desarrollo del mismo. Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) que a través del proyecto asignado al Dr. Scrosati financió parcialmente esta tesis.

Muchas fueron las personas involucradas en el desarrollo de este trabajo. Quiero agradecer en primer lugar a Ricardo Scrosati de quien tantas enseñanzas obtuve desde el inicio de la tesis y hasta el final. A Gustavo Hernández quien me guió en CICIMAR brindándome siempre su apoyo. A los miembros de la comisión revisora: Gustavo de la Cruz, Elisa Servière, Ignacio Sánchez y por su puesto Ricardo Scrosati y Gustavo Hernández (director y codirector) quienes enriquecieron este trabajo con sus comentarios y sugerencias.

En el trabajo de campo y laboratorio participaron muchisimas personas a quienes externo mi mas sincero agradecimiento ya que sin su apoyo no hubiese logrado obtener la información necesaria: Ricardo Scrosati, Roberto Carmona, Lazaro Cadena, Melania López, Alejandra Mazariegos, Verónica Castañeda, Luis G. Hernández, Rosa Rivera, Rita Domínguez, Julio Cuén, Sara C. Cuén, Julio Cuén Jr, Itzel Carmona, Roberto Carmona Jr., Rodrigo Carmona, Oscar Ubisha y al tan atento don Alberto del CIB. Gracias también a los bellos paisajes de la carretera a San Juan de La Costa que alegraron tantas tardes de regreso a casa. A Arturo Tripp que me proporciono un espacio para trabajar en CICIMAR. A Felipe Galván por su apoyo incondicional en CICIMAR cuando aparentemente todas las puertas estaban cerradas, gracias Felipe. A Elisa Servière por su apoyo en el CIB tras la partida de Ricardo.

A Cuauhtémoc Turrent por su valioso apoyo en la programación del algoritmo de Vandermer. A Víctor Gómez y Ernesto Torres por su asesoría en el manejo de MatLab.

A Humberto e Irene de Servicios Escolares, a Malva, Susana, Mirtha y Susy de la Unidad de Computo, a Martina, Juan y Lorena de Biblioteca que en tantas ocasiones atendieron a mis dudas.

A mis compañeros de Ecopath, Víctor, Manuel y Pablo, con quienes explore otro aspecto de la Ecología.....vamos por el Ecosistema chavos.

Por su puesto a Roberto Carmona por su contribución en mi desarrollo tanto personal como académico.

GRACIASA LA VIDA QUE ME HA DADO TANTO

ÍNDICE

GLOSARIO.....	i
LISTA DE TABLAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	8
4. OBJETIVOS.....	10
5. ÁREA DE ESTUDIO.....	11
6. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE	14
7. MATERIAL Y MÉTODOS	
7.1 TRABAJO DE CAMPO.....	16
7.1.1 Colectas.....	16
7.1.2 Marcado.....	17
7.2 TRABAJO DE LABORATORIO	
7.2.1 Obtención de densidad y biomasa.....	18
7.2.2 Estructura de tallas.....	19
7.2.3 Estadio de desarrollo.....	19
7.3 TRABAJO DE GABINETE	
7.3.1 Dinámica anual de la densidad y biomasa	20
7.3.2 Dinámica anual de la estructura de tallas.....	20
7.3.3 Estadio de desarrollo y tasas demográficas.....	26
7.3.3.1 Estadio de desarrollo	26
7.3.3.2 Tasa de crecimiento.....	26
7.3.3.3 Tasa relativa de mortalidad.....	27
7.3.3.4 Tasa de reclutamiento a la primera clase de talla.....	28
7.3.4 Variables ambientales	29
8. RESULTADOS	
8.1 ESTRUCTURA Y DINÁMICA POBLACIONAL.....	31
8.1.1 DINÁMICA ANUAL DE LA DENSIDAD Y BIOMASA.....	32
8.1.2 DINÁMICA ANUAL DE LA ESTRUCTURA DE TALLAS.....	38
8.1.2.1 Determinación de clases de talla.....	38
8.1.2.2 Estimación de biomasa por fronda.....	40

8.1.2.3	Descriptores de la estructura de tallas.....	41
8.1.2.3.1	Talla media.....	43
8.1.2.3.2	Desigualdad de tallas.....	45
8.2	ESTADIO DE DESARROLLO Y TASAS DEMOGRÁFICAS.....	
8.2.1	ESTADIO DE DESARROLLO.....	49
8.2.1	TASAS DEMOGRÁFICAS	
8.2.1.1	Tasa de reclutamiento a la primera clase de talla.....	53
8.2.1.2	Tasa de crecimiento.....	54
8.2.1.3	Tasa relativa de mortalidad.....	58
8.3	VARIABLES AMBIENTALES.....	
8.3.1	Temperatura.....	61
8.3.2	Nutrientes.....	62
8.3.3	Fotoperíodo.....	63
9.	DISCUSIÓN	
9.1	ESTRUCTURA Y DINÁMICA POBLACIONAL	
9.1.1	DINÁMICA ANUAL DE LA BIOMASA Y DENSIDAD.....	64
9.1.2	DINÁMICA ANUAL DE LA ESTRUCTURA DE TALLAS	
9.1.2.1	Talla media.....	68
9.1.2.2	Desigualdad de tallas.....	70
9.2	ESTADIO DE DESARROLLO Y TASAS DEMOGRÁFICAS	
9.2.1	ESTADIO DE DESARROLLO.....	72
9.2.2	TASAS DEMOGRÁFICAS	
9.2.2.1	Tasa de reclutamiento.....	74
9.2.2.2	Tasa de crecimiento.....	75
9.2.2.3	Tasa relativa de mortalidad.....	76
10.	CONCLUSIONES.....	78
11.	RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS PARA TRABAJO FUTURO.....	80
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	81
13.	APÉNDICES.....	
	I Programa para MatLab para calcular el algoritmo propuesto por Vandermeer (1977).....	I
	II Programa para MatLab para calcular el coeficiente de Gini según la formula propuesta por Sen (1973) en Weiner y Solbrig (1984).....	III

GLOSARIO

Autorraleo: proceso que implica mortalidad densodependiente de plantas que están creciendo activamente en condiciones de apiñamiento.

Biomasa: es la masa total de seres vivos en un lugar determinado. Se expresa en unidad de masa por unidad de área o volumen (kg/m^2 , kg/m^3 , ton/km^2).

Clonal: organismo que se propaga vegetativamente produciendo unidades funcionales similares que potencialmente son capaces de sobrevivir por si mismas si son separadas del organismo parental.

Coeficiente de Gini (G): índice que refleja la desigualdad de tamaño entre los miembros de una población.

Conceptáculo: cavidad fértil en la superficie del talo de algas pardas y rojas donde se forman gametangios (oogonias y anteridios). Generalmente interna bajo la superficie del talo, pero con una o mas aberturas al exterior.

Criptostomata: pequeñas cavidades en la corteza de las Fucales.

Demografía: es el estudio del tamaño de las poblaciones y el efecto que tienen sobre el mismo la natalidad, la mortalidad, las migraciones, la distribución de clases de edad o talla, la proporción de sexos y la proporción de ploidias.

Densidad poblacional: número de individuos por unidad de área o volumen.

Desigualdad de tamaño: se refiere a una distribución desigual en la frecuencia de los tamaños que resulta en una jerarquía de tamaño.

Dinámica poblacional: es el estudio de las razones de cambio en el tamaño de las poblaciones.

Estípite: tallo largo y no ramificado de las plantas arbóreas. En algas es una estructura engrosada o gruesa como tallo, generalmente corto como en *Sargassum*; pero hay muy largos como en *Nereocystis* o *Pelagophycus*.

Fenología: estudio de los sucesos biológicos y cíclicos de la vegetación, como la germinación, crecimiento, foliación, floración, fructificación, entre otros, y su relación con el clima y con otros factores.

Filoide: estructura algal con forma de hoja.

Fronda: conjunto de ramas o láminas que surgen de un estípite común y forman espesura.

Genet: Para macroorganismos autótrofos clonales es un individuo de vida libre que se desarrolla a partir de un cigoto, de un gameto partenogenético o de una espora y que produce unidades funcionales similares vegetativamente durante el crecimiento.

Jerarquía de tamaño: Distribución de frecuencia de tamaños con las siguientes características: 1) grandes variaciones en el tamaño de los individuos, 2) relativamente pocos individuos grandes y muchos pequeños, y 3) los pocos individuos grandes contribuyen mayormente a la biomasa de la población.

Nervadura media: generalmente una línea fina de células centrales en el filoide. La lámina es más gruesa en esta parte que en cualquier otra.

Perenne: planta que vive tres o más años. Si vive dos, o más de uno es bienal; si uno o menos de uno, anual.

Ramet: unidad funcional similar al genet producida vegetativamente por el mismo. Tiene la capacidad de sobrevivir independientemente del talo parental.

Receptáculo: estructura reproductiva característica de algas Fucales. Es una porción modificada del talo en la que se desarrollan los conceptáculos, dentro de los cuales se encuentran los gametos.

Senescente: que envejece.

Sujetador: parte basal de un alga, por medio de la cual se fija al substrato.

Talo: el cuerpo de un alga.

Vesícula: vejiga de aire o flotador.

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
I. Meses (representado por X) en los que se determinó densidad (n= No. de cuadrantes), biomasa (n= No. de cuadrantes), estructura de tallas (n= No. de frondas), crecimiento (n= frondas marcadas recuperadas), mortalidad (n= frondas marcadas) y reclutamiento a la primera clase de talla (Recl. 1ra.). Febrero (Fb), marzo (Mr), abril (Ab), mayo (My), junio (Jn), agosto (Ag), septiembre (Sp), noviembre (Nv), febrero 2001 (Fb2) y marzo 2001 (Mr2).....	31
II. Pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Bartlett) aplicadas a los datos mensuales de densidad y biomasa.....	33
III. Prueba de Nemenyi aplicada a los datos de densidad de <i>Sargassum lapazeanum</i> del suroeste del golfo de California de febrero del 2000 a febrero del 2001. Se reporta la probabilidad (p) de rechazar la hipótesis nula (H_0 = No hay diferencia entre los meses, n.s. =No significativo).....	34
IV. Prueba de Nemenyi aplicada a los datos de biomasa de <i>Sargassum lapazeanum</i> del suroeste del golfo de California de febrero del 2000 a febrero del 2001. Se reporta la probabilidad (p) de rechazar la hipótesis nula (H_0 = No hay diferencia entre los meses, n.s.= No significativo).....	35
V. Coeficientes de correlación y nivel de probabilidad para la relación entre las variables ambientales y las variables poblacionales densidad y biomasa de <i>Sargassum lapazeanum</i> del suroeste del golfo de California en el período de crecimiento de febrero a mayo del 2000. En negrita se resaltan las relaciones significativas al 90 y 95% de confianza.....	37
VI. Parámetros de ajuste del modelo potencial ($B= a L^b$ para la relación biomasa-longitud de las frondas de <i>Sargassum lapazeanum</i> . En negrita se resaltan los ajustes significativos al 95% de confianza.....	40
VII. Pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Bartlett) para la talla media mensual en la población de <i>Sargassum lapazeanum</i> del suroeste del golfo de California.....	44
VIII. Valores de probabilidad de la prueba de Nemenyi para la talla media de <i>Sargassum lapazeanum</i> n.s.= No significativo.....	44
IX. Pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Bartlett) para el coeficiente de Gini en longitud y biomasa de la población de <i>Sargassum lapazeanum</i> del suroeste del golfo de California.....	46

X.	Valores de probabilidad de la prueba de Tukey para el coeficiente de Gini en longitud. En negrita se resalta las comparaciones significativas al 95 % de confianza.....	47
XI.	Valores de probabilidad de la prueba de Tukey para el coeficiente de Gini en biomasa. En negrita se resalta las comparaciones significativas al 95 % de confianza.....	48
XII.	Valores de probabilidad obtenidos para la comparación de la tasa de crecimiento entre las clases de talla para los períodos: febrero-marzo 2000 (Fb-Mr), marzo-abril 2000 (Mr-Ab), mayo-junio 2000 (My-Jn), agosto-septiembre 2000 (Ag-Sp) y febrero-marzo 2001 (Fb2-Mr2). DI= Datos insuficientes, ND= Análisis no disponible. Se resalta en negritas las comparaciones significativas al 95% de confianza.....	56
XIII.	Comparación de la tasa de mortalidad de <i>Sargassum lapazeanum</i> entre clases de tallas para los períodos: febrero-marzo 2000 (Fb-Mr), marzo-abril 2000 (Mr-Ab), mayo-junio 2000 (My-Jn), agosto-septiembre 2000 (Ag-Sp) y febrero-marzo 2001 (Fb2-Mr2).....	59
XIV.	Valores de probabilidad de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de la tasa de mortalidad de <i>Sargassum lapazeanum</i> entre los períodos de estudio. Se resaltan en negritas las comparaciones significativas al 95% de confianza.....	59

LISTA DE FIGURAS

Fig.	Pág.
1 Localización del área de estudio. Piedras Coloradas, San Juan de La Costa..	13
2 Fronda de <i>Sargassum lapazeanum</i> se muestran las partes que la componen 1) sujetador, 2) estipe, 3) filoides, 4) receptáculos 5) vesículas y 6) porción que constituye la longitud total de la fronda.....	15
3. Variación de la densidad de <i>Sargassum lapazeanum</i> del suroeste del golfo de California de febrero del 2000 a febrero del 2001. (Media \pm Error Estándar). Las letras indican los grupos formados por la comparación múltiple no paramétrica de Nemenyi al 95% de confianza, letras iguales = no diferencia significativa.....	32
4. Variación de la biomasa de <i>Sargassum lapazeanum</i> del suroeste del golfo de California de febrero del 2000 a febrero del 2001 (Media \pm Error Estándar). Las letras indican los grupos formados por la comparación múltiple no paramétrica de Nemenyi al 95% de confianza, letras iguales = no diferencia significativa.....	34
5. Variación temporal de la relación entre \log_{10} (biomasa) y \log_{10} (densidad de frondas) para <i>Sargassum lapazeanum</i> del suroeste del golfo de California. Fb=febrero, Mr=marzo, Ab=abril, My=mayo.....	36
6. Relación temporal de la biomasa con respecto a la duración del día (fotoperíodo) para <i>Sargassum lapazeanum</i> del suroeste del golfo de California.....	37
7. Relación temporal de la biomasa con respecto a la hora en que ocurren las mareas bajas para <i>Sargassum lapazeanum</i> del suroeste del golfo de California.....	37
8. Gráficas de la suma de errores (Error de Muestreo + Error de Distribución) generados por el algoritmo de Vandermeer. Se muestran los límites superiores elegidos para formar los intervalos de clases de talla. A= 6, B=20, C=40, D=60, E=80 y F >80.....	39
9. Estructura de tallas de <i>Sargassum lapazeanum</i> , de febrero del 2000 a febrero del 2001. (Densidad Media \pm Error Estándar).....	42
10. Talla media de <i>Sargassum lapazeanum</i> de febrero del 2000 a febrero del 2001. (Media \pm Error Estándar). Las letras indican los grupos formados por la comparación múltiple no paramétrica de Nemenyi al 95% de confianza, letras iguales = no diferencia significativa.....	43
11. Valores del Coeficiente de Gini en longitud (A) y en biomasa (B) para la distribución de tallas a lo largo del tiempo (Media \pm Error Estándar). Las	

letras indican los grupos formados por la comparación múltiple Tukey al 95% de confianza, letras iguales = no diferencia significativa.....	46
12. Porcentaje de frondas (apilado) en los diferentes estados de desarrollo de <i>Sargassum lapazeanum</i> de abril del 2000 a febrero del 2001 (J= frondas juveniles, R= frondas reproductivas, RS= frondas reproductivas-senescentes y S= frondas senescentes.....	49
13. Porcentaje de frondas en los diferentes estados de desarrollo por clase de talla de abril del 2000 a febrero del 2001 (J= frondas juveniles, R= frondas reproductivas, RS= frondas reproductivas-senescentes y S= frondas senescentes.....	51
14. Densidad de frondas en el período de estudio y tasa de reclutamiento estimada para los meses de marzo, junio y septiembre.....	53
15. Densidad de frondas en el período de estudio y tasa de crecimiento (cm/día, Media \pm Error Estándar) para los meses de marzo, abril, mayo, junio, septiembre y marzo del 2001.....	54
16. Tasa de crecimiento (cm/día) por clase de talla para los períodos de: febrero-marzo (Fb-Mr, n=62), marzo-abril (Mr-Ab, n=42), mayo-junio (My-Jn, n=135), agosto-septiembre (Ag-Sp, n=8) y febrero del 2001-marzo del 2001 (Fb2-Mr2, n=42). Las letras indican el resultado de la comparación entre clases de talla por período ($\alpha=0.05$), letras iguales =no diferencia significativa.....	57
17. Tasa relativa de mortalidad (%) para los períodos febrero-marzo, marzo-abril, mayo-junio, agosto-septiembre y febrero-marzo del 2001. Las barras indican la cantidad de frondas que murieron (frondas/m ²) en el período correspondiente. Las líneas indican la densidad de frondas en el período de estudio.....	58
18. Tasa de mortalidad (%) por clase de talla para los períodos de, febrero-marzo (Fb-Mr, n=99), marzo-abril (Mr-Ab, n=55), mayo-junio (My-Jn, n=252), agosto-septiembre (Ag-Sp, n=110) y febrero del 2001-marzo del 2001 (Fb2-Mr2, n=49).....	60
19. Fluctuación de la temperatura superficial del mar (TSM), para la bahía de La Paz, de febrero del 2000 a febrero del 2001. Tomado de la base de datos de la NOAA.....	61
20. Concentración de nitratos ($\mu\text{mol/l}$) en Piedras Coloradas, San Juan de la Costa de marzo del 2000 a febrero del 2001.....	63
21. Patrón de duración del día (horas luz) para la bahía de La Paz, B.C.S., México (Tomado del programa Mar V0.51 por CICESE).....	63

Estructura y dinámica poblacional de *Sargassum lapazeanum* (Phaeophyceae, Fucales) del suroeste del golfo de California, México.

RESUMEN

El género *Sargassum* es una de las macroalgas más importantes en la bahía de La Paz, en términos de biomasa y cobertura. Las especies de este género se caracterizan por funcionar como refugio, fuente de alimentación y sustrato para una gran cantidad de organismos y debido a esto las fluctuaciones en la densidad de las poblaciones de *Sargassum* pueden influir directamente sobre la función de ecosistemas costeros. En el presente trabajo se describieron y analizaron algunos aspectos de la estructura y dinámica poblacional de *Sargassum lapazeanum*. Se estudio un manto de aproximadamente 90 m de largo y 3 de ancho localizado en Piedras Coloradas, B.C.S. (24° 20'51"N y 110° 40' 25" O). Mensualmente de febrero a septiembre, posteriormente en noviembre del 2000 y febrero del 2001 se colectaron al azar 30 cuadrantes de 0.25 m². Con los especímenes colectados se estimó biomasa, densidad de frondas, relación biomasa-longitud de las frondas y estructura de tallas (longitud de frondas). Además, se marcaron frondas con etiquetas plásticas numeradas, para estimar las tasas de crecimiento y mortalidad. La tasa de reclutamiento se obtuvo analizando en conjunto los datos de las colectas y marcado. Se registraron algunas de las variables ambientales que pueden afectar la dinámica poblacional de *S. lapazeanum* (temperatura, fotoperíodo, nutrientes y hora de la marea baja). La talla máxima de las frondas varió mensualmente durante el periodo de estudio, con un máximo en abril (90 cm) y un mínimo en septiembre (5 cm). La densidad media de las frondas se incrementó de febrero a marzo (104 ± 61 a 776 ± 181 frondas/m²; media ± error estándar), disminuyó en abril, para alcanzar su valor mínimo en septiembre (55 ± 27 frondas/m²). Se observó un aumento continuo en biomasa de febrero a mayo (de 6.8 ± 4 a 448 ± 158 g/m²). Posteriormente disminuyó hasta 3 ± 2 g/m² en septiembre. La fuerte estacionalidad detectada también ha sido observada para otras especies de *Sargassum*. La biomasa mostró una relación positiva y significativa con el fotoperíodo indicando que el aumento en la duración del día favorece la acumulación de biomasa. La relación de la biomasa y la hora de la marea baja fue significativamente negativa indicando que las

mareas bajas en la madrugada son favorables para el desarrollo de las plantas. Las variables ambientales temperatura y nutrientes no mostraron relación significativa con la densidad o biomasa. La relación biomasa-densidad mostró una pendiente positiva en el período de crecimiento (febrero-mayo), lo cual indica que no se presenta autorraleo en la población. Se definieron seis intervalos de clases de talla, calculados en base al algoritmo propuesto por Vandermeer 1978 (0-6, 6-20, 20-40, 40-60, 60-80, >80 cm). La estructura de tallas mostró una alta desigualdad, con muchas frondas pequeñas y pocas grandes; sólo en primavera se observaron todas las tallas. La talla promedio presentó una marcada estacionalidad alcanzándose el máximo en primavera. La desigualdad de tallas se mantuvo alta durante la época de crecimiento, lo cual es otro indicador de la ausencia de autorraleo. Se presentó reclutamiento a la primera clase de talla durante todo el período de estudio (máximo 675 frondas/m² para febrero-marzo y mínimo de 36 frondas/m² para agosto-septiembre). La reproducción se inició en abril presentándose la mayor proporción de frondas en reproducción en mayo. La tasa de crecimiento fue máxima en marzo-abril (1.6 ± 0.16 cm/día), y no hubo diferencia para esta variable en las dos primeras clases de talla durante todo el período de estudio. En marzo-abril las frondas de las clases 3 y 4 crecieron significativamente más (2 ± 0.25 y 1.2 ± 0.6 cm/día) que las de las clases 1 y 2. Se presentó mortalidad durante todo el período de estudio, pero ésta fue máxima en agosto-septiembre (94%), marcando el final del ciclo de desarrollo de la población. El pico de reclutamiento observado entre febrero y marzo generó la máxima densidad de plantas en marzo. Posteriormente, la densidad disminuyó debido al bajo reclutamiento y al aumento de la mortalidad. El aumento de la biomasa entre febrero y mayo estuvo dado por las elevadas tasas de crecimiento que se presentaron en este período. Se reclutó una nueva generación en agosto-septiembre y su tasa de crecimiento (en febrero del 2001) fue similar a la observada en febrero del 2000.

Structure and populational dynamics of *Sargassum lapazeanum* (Phaeophyceae, Fucales) in the southwestern Gulf of California, México.

ABSTRACT

The genus *Sargassum* is one of the most important macroalgae in La Paz Bay, in terms of biomass and abundance. These species are characterized by their role as refuge, food source and substrate for a great number of organisms, and because of that, fluctuations in population density of *Sargassum* may directly influence the function of coastal ecosystems. In the present work, some aspects of the structure and population dynamics of *Sargassum lapazeanum* were described and analyzed. Specimens were collected monthly from February to September 2000 and two collects more on November 2000 and February 2001 at Piedras Coloradas, B.C.S. (24° 20'51"N & 110° 40' 25" W), in a bed approximately 90 m long and 3 wide, and using randomly placed quadrants (0.25 m² in area). The information was used for the estimation of biomass, fronds density and size structure (fronds length). In addition, fronds were marked with numbered plastic labels, to estimate growth and mortality rates. Recruitment rate was calculated by analysis of the after mentioned data. Some environmental variables that might affect the population dynamics of *S. lapazeanum* (temperature, photoperiod, nutrients, and time of the lowest tide) were also registered. The maximum height of the fronds varied monthly, with a maximum in April (90 cm) and a minimum in September (5 cm). Mean density of the fronds increased from February to March (104 ± 61 to 763 ± 181 fronds/m², mean ± standar error), was reduced in April, and reached a minimum in September (55 ± 27 fronds/m²). A continuous increase in biomass was observed from February to May (of 6.8 ± 4 to 448 ± 158 g/m²), but this variable was much lower in September (3 ± 2 g/m²). The strong seasonality detected in biomass and density has also been observed for other *Sargassum* species. Biomass of *S. lapazeanum* showed a significant and positive relationship with the photoperiod, an indication that longer days favor biomass accumulation. The relationship between biomass and time of the lowest tide was negative and significant, which denote that low tides early in the day are favorable for plant development. Other environmental variables measured (temperature and nutrient concentration) did not show significant relationship with algal density or biomass. The biomass–density relationship had a positive slope during the period of growth

(February-May); consequently the population do not undergo self-thinning. For the second part of the study, six class intervals were used (0-6, 6-20, 20-40, 40-60, 60-80, > 80 cm), which were calculated using Vandermeer's 1978 algorithm. Size structure showed dominance of small fronds over large ones, and in addition the entire suite of size classes was observed only in spring. Average height presented high seasonality, reaching the maximum in spring. The size inequality was maintained during the entire growth season, another proof of lack of self-thinning. There was recruitment to the first size class during all the period of study (from 675 leaves/m² in February-March, to 36 fronds/m² in August-September). Reproduction began in April and the largest proportion of sexually active fronds appeared in May. Growth rate was highest in March-April (1.6 ± 0.16 cm/day), and there was no difference for this variable in the first two size classes during the entire study. Fronds of classes 3 and 4 grew significantly faster in March-April (2 ± 0.25 and 1.2 ± 0.6 cm/day) than those of classes 1 and 2. Mortality occurred along the entire study period, but it was highest in August-September (94%). The recruitment peak observed in February and March produced the maximum plant density in March. Afterwards, the density was reduced due to low recruitment and an increase in mortality. The increase in biomass between February and May was caused by the high growth rates denoted in this period. A new cohort was recruited in August-September, and its growth rate (in February 2001) was similar to that observed in February 2000.

1. INTRODUCCIÓN

El tamaño de todas las poblaciones biológicas está determinado por cuatro procesos poblacionales fundamentales (tasas demográficas) la natalidad, la mortalidad, la inmigración y la emigración (Krebs 1985, Begon *et al.* 1996). La mayoría de las especies pasan por diferentes estados a lo largo de su ciclo de vida. A través de ellos, regularmente se presentan diferentes valores de los procesos mencionados. La caracterización adecuada de los cambios poblacionales que se observan en todas las especies requiere de conocer la forma en que se modifican las tasas demográficas a lo largo del ciclo vital (Begon *et al.* 1996).

En ecología es común la utilización de tablas de vida para analizar la supervivencia de diferentes grupos de edad, estado de desarrollo o clase de talla (Chapman 1985, Krebs 1985, Begon *et al.* 1996). Recientemente se ha generalizado el uso de los modelos matriciales para este mismo fin (Ang y DeWreede 1990). La utilidad inmediata de este tipo de trabajos es la predicción de los tamaños poblacionales, bajo diferentes condiciones ambientales o de explotación (Ang y DeWreede 1990, Chapman 1995, Begon *et al.* 1996).

En general, un estudio demográfico implica la determinación de atributos poblacionales como la abundancia, la densidad, la tasa de crecimiento, la tasa de mortalidad, la tasa de reclutamiento y la fertilidad, entre otros. Además de la abundancia promedio de los organismos es importante conocer la distribución de los grupos de edad, de talla o de estado de desarrollo que componen a una población, pues de dicha distribución también dependen procesos intraespecíficos de competencia (Begon *et al.* 1996).

Dentro de las algas, en la división Phaeophyta (algas pardas) se encuentran las especies de mayor talla que representan la mayor biomasa algal de una gran cantidad de comunidades costeras (Abbott y Norris 1985, Chapman 1995). Grandes algas de este grupo forman importantes comunidades submareales o intermareales denominadas bosques de kelps. Los bosques de kelps tienen una elevada productividad y las frondas forman una extensa estructura vertical que provee de hábitat a una gran cantidad de especies. Debido a esto, los bosques son de gran importancia para las pesquerías (Lobban y Harrison 1994).

Las algas pardas son un grupo predominantemente marino, con sólo cuatro géneros de agua dulce: *Heribaudiella*, *Pleurocladia*, *Bonadella* y *Sphacelaria* (van den Hoek *et al.* 1995). La mayoría de las algas pardas crecen en la zona intermareal y en la submareal superior (Lee 1999, Graham y Wilcox 2000). Son un grupo sumamente diverso, con más de 1,500 especies pertenecientes a 250 géneros aproximadamente. Se pueden encontrar formas filamentosas, laminares, tubulares o grandes estructuras vegetativas complejas (van den Hoek *et al.* 1995, Lee 1999, Graham y Wilcox 2000).

El género *Sargassum* está compuesto por más de 400 especies distribuidas en todos los océanos del mundo (Phillips 1995). En las zonas tropical y subtropical, las especies de *Sargassum* forman comunidades similares a los bosques de Laminariales de las zonas templadas.

En el golfo de California en los últimos años se ha puesto énfasis en la investigación de cinco especies de *Sargassum*: *S. johnstonii*, *S. sinicola*, *S. herporhizum*, *S. horridum* y *S. lapazeanum* (Pacheco-Ruíz *et al.* 1998). Para la bahía de La Paz se han reportado entre siete y tres especies, pero se ha

enfaticado en el estudio de *S. sinicola*, *S. horridum* y *S. lapazeanum* (Fajardo-León 1994).

Durante la primavera en la bahía de La Paz se presentan grandes mantos de *Sargassum* siendo el componente más conspicuo de la ficoflora en el área. *Sargassum lapazeanum* es una de las especies que conforman estos mantos.

Sargassum lapazeanum es una especie subtropical que se distribuye sólo en el golfo de California, desde la bahía de la Paz hasta Santa Rosalía (Rocha-Ramírez y Siqueiros-Beltrones 1990, Núñez-López y Casas-Valdez 1997, Pacheco-Ruíz *et al.* 1998). En la bahía de La Paz crece simpátricamente con *S. sinicola* y *S. horridum*. La determinación taxonómica de estas dos últimas especies es compleja y debido a la similitudes en su morfología es posible confundirlas (Rocha-Ramírez y Siqueiros-Beltrones 1990). En la bahía de La Paz, *S. lapazeanum* es la única especie de *Sargassum* que a la fecha puede ser identificada con certeza. Dado que en un estudio ecológico es importante la identidad de los organismos se eligió esta especie para realizar un estudio demográfico, que sienta las bases para futuros trabajos predictivos en un grupo de algas de gran importancia ecológica y económica.

2. ANTECEDENTES

Los trabajos demográficos en algas se iniciaron en los 60's, con especies como *Laminaria* (Chapman 1986). Posteriormente en los 80's se realizaron los primeros trabajos demográficos en Fucales. Al inicio se construyeron tablas de vida basadas en supervivencia por grupo de edad (Chapman 1995). Dado que la

talla está más relacionada a las tasas demográficas que la edad, recientemente se han generado modelos matriciales por clase de talla (Chapman 1995).

Se han desarrollado modelos que permiten la predicción de la respuesta poblacional a diferentes condiciones ambientales o de cosecha para especies como *Sargassum siliquosum* en Filipinas (Ang 1987), *Ascophyllum nodosum* en Suecia (Åberg 1992a, 1992b) y *Fucus gardneri* (como *F. distichus*) en Vancouver (Ang y DeWreede 1993).

La estructura de tamaños en las poblaciones ha sido abordada en numerosos trabajos. Se ha encontrado que para muchas especies de plantas y algas la distribución de tamaños está fuertemente sesgada, con una gran cantidad de organismos pequeños y pocos organismos grandes (Begon *et al.* 1996). A esta distribución se le denomina jerarquía de tamaño. Una jerarquía se define como: “un grupo de personas o cosas clasificadas en grados, órdenes o clases...”, de tal manera que este término es apropiado para describir una población en la que hay pocos individuos grandes y muchos pequeños o viceversa (Weiner y Solbrig 1984).

El término jerarquía de tamaño es usualmente aplicado a distribuciones de tamaño en poblaciones: a) que tienen una gran variación en el tamaño de los individuos, b) que presentan relativamente pocos individuos grandes y muchos pequeños y c) los pocos individuos grandes contribuyen en gran medida a la biomasa de la población (Weiner y Solbrig 1984). Estos autores proponen que la jerarquía de tamaño es equivalente a la desigualdad de tamaño.

Se han empleado una gran cantidad de índices para medir la desigualdad de tamaño; Kokko *et al.* (1999) realizaron una revisión y análisis de 21 índices

usados con este fin, pero no concluyen acerca de cuál es el mejor y sugieren decidir de acuerdo a los objetivos de cada investigación.

Entre los índices más usados para medir la desigualdad de tamaño se encuentran el de sesgo (g_1), el coeficiente de variación (CV) y el coeficiente de Gini; regularmente, los valores del Coeficiente de Variación y el Coeficiente de Gini están correlacionados (Bendel *et al.* 1989, Kokko *et al.* 1999). En particular, la medición del sesgo ha sido rechazada como estimador de desigualdad porque no la refleja con propiedad (Bendel *et al.* 1989, Kokko *et al.* 1999). La literatura reciente sugiere la utilización del coeficiente de Gini y el coeficiente de variación (Weiner y Solbrig 1984, Bendel *et al.* 1989, Santos 1995, Scrosati y DeWreede 1997, Arenas y Fernández 2000).

La mortalidad generada por alta densidad se conoce como autorraleo (self-thinning) y es un proceso que se presenta en una gran cantidad de especies. Se puede evaluar mediante experimentación, o bien de forma indirecta a través del análisis de la relación logarítmica entre la biomasa total y la densidad. Una pendiente negativa de esta relación durante la época de crecimiento indica autorraleo en la población (Weller 1987, Scrosati 1997).

Las relaciones densidad-biomasa han sido analizadas para algas clonales (Martínez y Santelices 1992, Santos 1995, Scrosati y DeWreede 1997, Scrosati y Servièrre-Zaragoza 2000) encontrándose en general una relación positiva (no autorraleo) cuando se considera la densidad de ramets (frondas). Para algas no clonales la relación entre la biomasa y la densidad de individuos presenta una pendiente negativa (autorraleo) (Schiel y Choat 1980, Creed 1995, Flores-Moya *et al.* 1996, Arenas y Fernández 2000). Un organismo se considera clonal cuando

produce unidades que pueden crecer independientemente (ramets). Un conjunto de ramets constituye un clon, mientras que el organismo que surge de un cigoto es un genet (Begon *et al.* 1996). Particularmente para macroorganismos autótrofos se denomina genet al organismo que se desarrolla a partir de un cigoto, de un gameto partenogénico o de una espora y que produce ramets vegetativamente (Scrosati 2002).

La abundancia en biomasa, densidad o cobertura ha sido el aspecto de las poblaciones de *Sargassum* que más se ha abordado. Con base en una revisión bibliográfica y sus propios resultados, DeWreede (1976) planteó la generalización de que las especies de *Sargassum* de zonas templadas presentan sus máximos de crecimiento en verano, mientras que las especies de zonas tropicales los presentan en invierno. Esta generalización fue apoyada posteriormente por McCourt (1984) al realizar una revisión bibliográfica y con los resultados de su trabajo en tres especies de *Sargassum* de Sonora. Además, este último autor menciona que las especies subtropicales presentan su máximo desarrollo entre las estaciones extremas (primavera). Esta conclusión fue apoyada por los trabajos realizados en la bahía de La Paz con *Sargassum sinicola* y *S. horridum*, que presentaron sus máximos crecimientos en primavera (Espinoza y Rodríguez 1987, Muñetón-Gómez y Hernández-Carmona 1993).

Por otro lado, Ang (1985a) reporta que este patrón no se presenta en las especies tropicales de *Sargassum* de Filipinas, en donde el máximo crecimiento se presentó en verano, al igual que lo encontrado por Sánchez-Rodríguez y Hernández-Carmona (1998) y por Sánchez-Rodríguez y Cervantes-Duarte (1999) en bahía Magdalena. En este último caso el cambio aparente del patrón de

crecimiento se explica debido a las surgencias que se presentan en la zona a fines de primavera y que pueden extenderse hacia el verano, lo que propicia bajas temperaturas del agua en la región.

Los trabajos realizados con *Sargassum* en la bahía de La Paz incluyen reportes de presencia (Setchell y Gardner 1924, Dawson 1944, Holguín-Quiñonez 1971, Espinoza-Avalos y Rodríguez-Garza 1985, Rocha-Ramírez y Siqueiros-Beltrones 1990, Cruz-Ayala *et al.* 1998). Además se cuenta con una evaluación de biomasa que muestra que podrían existir del orden de 18,000 toneladas de biomasa fresca cosechable de *Sargassum* durante la primavera (Hernández-Carmona *et al.* 1990). Los estudios fenológicos indican que para *Sargassum sinicola* las plantas crecen y alcanzan su máxima longitud durante los meses fríos del año (marzo, abril), mientras que el decaimiento de las plantas se presenta en septiembre (Espinoza y Rodríguez 1987).

Con respecto a la tasa de crecimiento, *S. sinicola* en la bahía de La Paz alcanza una tasa máxima de 0.5 cm/día en marzo y de mayo a agosto sólo se observa disminución en la talla (Espinoza y Rodríguez 1989). Se determinó una tasa de crecimiento máxima para *S. horridum* de entre 0.7 y 2 cm/día mediante la diferencia mensual en la talla promedio de 30 organismos, también durante los meses más fríos del año (Muñetón-Gómez y Hernández-Carmona 1993).

Con respecto a la reproducción, *S. horridum* presenta receptáculos de mayo a junio y se desarrollan las nuevas plantas en otoño (Muñetón-Gómez 1989), mientras que *S. sinicola* se reproduce en primavera y en verano (Espinoza y Rodríguez 1987, Espinoza 1990).

Se han realizado trabajos importantes con *Sargassum* en la bahía de la Paz, pero éstos no incluyen a *S. lapazeanum*. En el Pacífico mexicano no hay reportes sobre la dinámica poblacional de ninguna especie de *Sargassum*, por lo que en el estudio presente se propuso determinar la estructura y dinámica poblacional de una de las especies más abundante en la bahía de La Paz, *Sargassum lapazeanum*.

3. JUSTIFICACIÓN

Las algas pardas juegan un papel muy importante tanto económica como ecológicamente. Desde el punto de vista económico, estas algas son usadas para la producción de ficocoloides, fertilizantes y como alimento para organismos tanto marinos como terrestres. En la actualidad en México se están llevando a cabo estudios sobre el potencial de algunas especies de *Sargassum* en estos aspectos. Por ejemplo, en diferentes proyectos de investigación de CICIMAR se está evaluando su uso como forraje para ganado ovino (Casas-Valdez M.M. com. pers.¹) así como su potencial para la extracción de alginatos y su aplicación en la elaboración de geles (Yabur-Pacheco R. com. pers.²)

Desde el punto de vista ecológico, tanto *Sargassum* y *Fucus* entre las Fucales, como *Macrocystis* y *Laminaria* entre las Laminariales, representan un substrato para una gran cantidad de organismos además de funcionar como zona de refugio y de alimentación. Actualmente se están realizando estudios en

¹ Casas-Valdez M.M. CICIMAR-IPN. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n. Col. Playa Palo de Santa Rita. Apdo. Postal 592 La Paz B.C.S. 23096 México.

² Yabur-Pacheco R. CICIMAR-IPN.

CICIMAR acerca de la evaluación taxonómica de las especies de este género y la dinámica poblacional de *S. horridum* (Paul-Chávez L. com. pers.³), así como de la composición de los invertebrados en los mantos de *Sargassum* spp. (Medina-López M. com. pers.⁴). El género *Sargassum* domina en biomasa y cobertura en la bahía de La Paz lo cual le confiere gran importancia ecológica.

En México, no se han desarrollado estudios demográficos en macroalgas. Para la bahía de la Paz los estudios realizados con *Sargassum* se refieren a estimaciones de biomasa, fenología, crecimiento y reproducción. Dado que *Sargassum lapazeanum* es la única especie de *Sargassum* en la bahía de La Paz que no presenta problemas en su identificación se eligió para realizar un estudio demográfico que sentará las bases para futuros estudios.

²

³ Paul-Chávez L. CICIMAR-IPN

⁴ Medina-López M. CICIMAR-IPN.

4

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Describir e interpretar la estructura y dinámica poblacional de *Sargassum lapazeanum* en la bahía de La Paz, B. C. S., en un ciclo anual.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estructura de la población

- 1) Estimar la biomasa y densidad de frondas a lo largo de un ciclo anual.
- 2) Describir la estructura de tallas de la población.

Dinámica de la población

- 3) Analizar la variación temporal de la biomasa y densidad, así como su relación con las variables ambientales.
- 4) Analizar la variación temporal de la estructura de tallas.
- 5) Analizar el porcentaje de frondas en los diferentes estadios de desarrollo.
- 6) Estimar las tasas de reclutamiento, crecimiento y mortalidad.

5. ÁREA DE ESTUDIO

La bahía de La Paz, ubicada en la región sudoccidental del golfo de California (fig. 1), es un cuerpo de agua somero que aumenta de profundidad de sur a norte, con una profundidad máxima de 400 metros. Su límite oriental lo marca la isla Espíritu Santo y entre ésta y la costa se encuentra el canal de San Lorenzo, a través del cual hay intercambio de agua entre el golfo de California y la bahía de La Paz (Jiménez-Illescas *et al.* 1997).

La masa continental que delimita la bahía de La Paz presenta un clima BW(h´)hw(x´) muy seco y semicálido. El promedio anual de lluvias en la zona es 187 mm siendo septiembre el mes más lluvioso del año (62 mm). La temperatura ambiental promedio anual es de 23°C con un máximo en verano de 37°C y un mínimo en invierno de 8°C (INEGI 1994, citado en Cruz-Ayala 1996). La bahía de La Paz presenta un régimen de mareas mixto. Las velocidades máximas de marea se encuentran en la ensenada de La Paz (70 cm/seg), canal de San Lorenzo (25 cm/seg) y en la parte norte de la isla Partida (30 cm/seg), que funciona también como un canal de circulación (Reyes-Salinas 1999).

En la bahía de La Paz se presentan tres masas de agua, una en el noroeste caracterizada por condiciones estables de temperatura y salinidad, otra en el canal de San Lorenzo que presenta la mayor variabilidad de temperatura y salinidad y una última transicional ubicada entre las dos primeras con características de ambas (Álvarez-Arellano y Murillo-Jiménez 1989). La salinidad varía entre 34 y 37 ups y la temperatura superficial del mar oscila entre 18 y 31°C (Scrosati 2001). Se diferencian dos estaciones que inician cada seis meses una cálida de mayo a octubre y una templada de noviembre a abril (Reyes-Salinas 1999).

La población en estudio se encuentra ubicada en el intermareal bajo en la localidad denominada Piedras Coloradas, 2 kilómetros al sur de San Juan de La Costa ($24^{\circ} 20'51''$ N y $110^{\circ} 40'25''$ O) localizada en la bahía de La Paz (Fig. 1). Piedras Coloradas es una playa arenosa rocosa de pendiente suave en donde se encuentra un manto de *S. lapazeanum* de aproximadamente 100 m de largo y 3 de ancho. Las plantas crecen sobre rocas grandes y están sujetas a períodos de sumersión y exposición por efecto de las mareas.

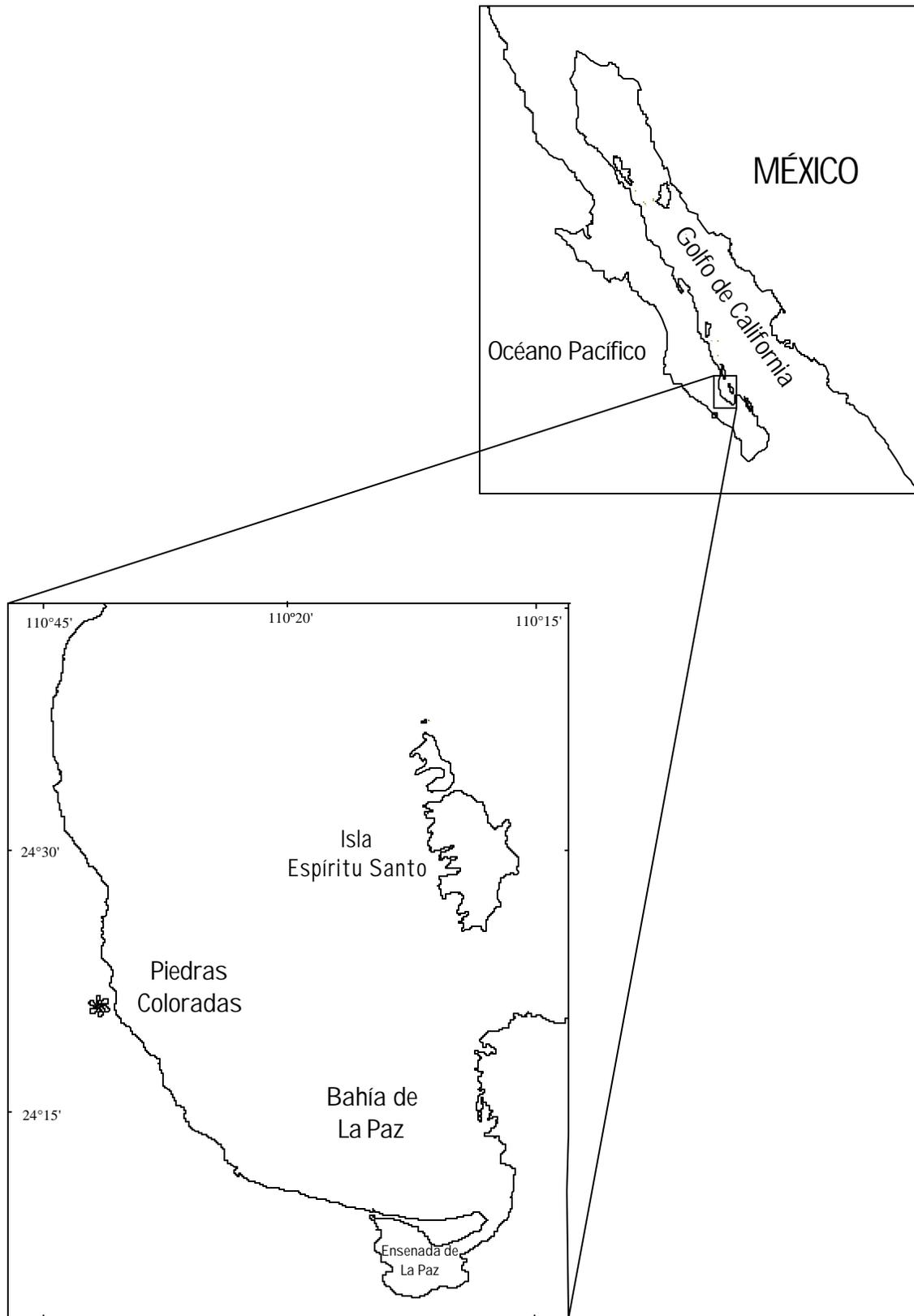


Figura 1. Localización del área de estudio. Piedras Coloradas, San Juan de La Costa.

6. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE:

Sargassum lapazeanum (Fig. 2) se caracteriza por presentar un sujetador parenquimatoso en forma de disco plano delgado. El estípite es corto, de 0.45-0.7 cm de longitud. Los filoides son pequeños anchos y asimétricos, con el margen superior cóncavo y el inferior convexo, de 0.25-1.8 cm de longitud, sin vena media, con criptostomas abundantes y conspicuos (2-12) distribuidos de manera irregular. Las vesículas están esparcidas entre los receptáculos, son de forma elipsoidal con un pecíolo corto y están coronadas por el remanente del filoide. Los receptáculos son dentados; los anteridiales son de diámetro pequeño y las ramificaciones son más abiertas que en los oogoniales (Dawson 1944).

Sargassum lapazeanum fue descrita en 1924 por Setchell y Gardner, con ejemplares de La Paz, B.C.S. Fue incluida en la revisión de Dawson (1944) de las especies de algas del golfo de California, quien la reportó además de La Paz para las siguientes localidades: Guaymas, isla San Marcos, isla Tortugas e isla Turner. Posteriormente fue reportada para la bahía de la Paz (Holguín-Quiñonez 1971, Huerta-Muzquiz y Mendoza-González 1985, Rocha-Ramírez y Siqueiros-Beltrones 1990, Riosmena-Rodríguez *et al.* 1991, Cruz-Ayala *et al.* 1998), para bahía Concepción (Nuñez-López y Casas-Valdez, 1997) y para Santa Rosalía (Pacheco-Ruíz *et al.* 1998).

Sargassum lapazeanum fue identificada por Rocha-Ramírez y Siqueiros-Beltrones (1990) como una especie que no presenta problemas taxonómicos; en este sentido es la única especie del género *Sargassum* con esta característica en la bahía de La Paz.



Figura 2. Fronda de *Sargassum lapazeanum* se muestran las partes que la componen 1) sujetador, 2) estípite, 3) filoides, 4) receptáculos 5) vesículas y 6) porción que constituye la longitud total de la fronda.

7. MATERIAL Y MÉTODOS

7.1 TRABAJO DE CAMPO

Se llevó a cabo un ciclo anual de muestreo de febrero del 2000 a febrero del 2001. El trabajo se dividió en dos partes: a) se realizaron colectas mensuales al inicio del estudio y dos colectas mas, una al final del año y otra a principios del siguiente, para estimar la densidad de frondas, biomasa en pie, estructura de tallas de la población y la proporción de frondas reproductivas; b) se realizó un marcado de frondas en diferentes momentos del período de estudio (febrero, mayo, agosto y febrero del 2001) para llevar a cabo estimaciones de crecimiento y mortalidad. Con los datos de estructura de tallas, crecimiento y mortalidad en conjunto se realizó una estimación del reclutamiento.

7.1.1 Colectas

Mensualmente exceptuando julio (febrero 18, marzo 20, abril 16, mayo 19, junio 24, agosto 23, septiembre 27) y posteriormente en diciembre 8 (considerada como la colecta de noviembre representativa de otoño) del 2000 y febrero 23 del 2001 (representativo de invierno) se colectaron todas la frondas presentes en 30 cuadrantes de 0.25 m^2 , a lo largo de un transecto permanente de 83 metros paralelo a la línea de costa. El transecto se colocó aproximadamente en el centro de la población de *Sargassum lapazeanum* recorriéndola de extremo a extremo. Un área de 0.25 m^2 a un lado u otro del transecto representaba una unidad de muestreo, de tal manera que había 332 unidades de muestreo disponibles. La aleatoriedad se aseguró seleccionando la localización de las unidades de muestreo antes de la colecta, con la ayuda de números al azar generados

previamente y un mapa del transecto, en el que se identificó cada unidad susceptible de muestreo y se marcaron las áreas en las que se había colectado previamente (muestreo sin reemplazo).

El tamaño de la unidad de muestreo se eligió considerando trabajos similares en los que se ha medido densidad en cuadrantes permanentes para otras especies del género *Sargassum* (Kendrick 1993, Kendrick y Walker 1994 y Arenas y Fernández 1998, 2000).

Se colectaron muestras de agua para analizar nutrientes, las muestras se tomaron en botellas de plástico sumergiendo la botella a media agua hasta que se llenara, la colecta se realizó en dos puntos a lo largo del transecto entre las 12:00 y las 13:00 horas. Las botellas se colocaron en hielo para ser transportadas al laboratorio en donde fueron congeladas a -20°C y posteriormente analizadas para la determinación de nitratos mediante la técnica propuesta por Strickland y Parsons (1972) aplicada en el laboratorio de Biogeoquímica del CIBNOR.

7.1.2 Marcado

Se llevó a cabo el marcado de frondas con la finalidad de determinar la tasa de crecimiento y mortalidad. A lo largo del transecto se seleccionaron 3 puntos (al inicio, en medio y al final), en donde se colocaron entre 40 y 100 marcas plásticas numeradas en forma de anillo (suministradas por Floy Tag Co.). Las marcas se colocaron en el estípite, entre el sujetador y el inicio de las ramificaciones. Una vez individualizada, cada fronda se midió desde la base del estípite hasta el extremo distal de la rama más larga. Transcurrido un mes se localizaron las frondas marcadas y se midieron de nuevo. El marcado se llevó a cabo en febrero 17, mayo

14, agosto 21 y febrero 7. La recuperación de las frondas se realizó en marzo 16, junio 21, septiembre 18 y marzo 9 del 2001.

7.2 TRABAJO DE LABORATORIO

Una vez colectado el material se transportó al laboratorio en una hielera, con la intención de que las plantas no se deshidrataran. El material se procesó en fresco en un plazo máximo de una semana, tiempo durante el cual se colocaba en un refrigerador a una temperatura aproximada de 10°C. Las muestras se refrigeraban sin agua para evitar su posible descomposición y cuando se procesaba se re-hidratava con agua de mar.

7.2.1 Obtención de densidad y biomasa

Para determinar la densidad mensual (número de frondas por unidad de área) se contó el número de frondas presentes en cada cuadrante. Debido a que los cuadrantes fueron de 0.25 m² se estimó el número de frondas para 1 m² multiplicando el número total de frondas en el cuadrante por cuatro. Se determinó el promedio de frondas por metro cuadrado en el transecto sumando la densidad de cada cuadrante y dividiéndola entre el número total de éstos.

Para determinar la biomasa mensual por unidad de área se pesaron las frondas de cada cuadrante utilizando una balanza digital Denver modelo TR-403 con una precisión de ± 0.001 g. Primero se colocaron las frondas en agua de mar, para re-hidratar y eliminar los epífitos y fauna asociada. Posteriormente, se eliminó

el exceso de agua utilizando papel absorbente previo a la determinación de biomasa.

La longitud y biomasa por fronda se determinó para una sub-muestra mensual. De cada muestra mensual se eligieron al azar entre 100 y 300 frondas de las cuales se obtuvo su longitud y biomasa. Cada fronda se hidrató en agua de mar y posteriormente se le eliminó el exceso de agua con papel absorbente. La longitud se determinó con una precisión de ± 1 mm y la biomasa con una precisión de ± 0.001 g. Este procedimiento se llevó a cabo con la finalidad de obtener un modelo que describiera la relación longitud-biomasa para después calcular la biomasa de cada una de las frondas colectadas, a partir de su longitud.

7.2.2 Estructura de tallas

Para obtener la estructura de tallas de la población se midió la longitud de cada ejemplar colectado en los cuadrantes, desde la base del estípite hasta la punta de la ramificación más larga (Fig. 2).

7.2.3 Estadio de desarrollo

Al tiempo que se medían las frondas se registraba su estado de desarrollo, ya fuera juvenil (J), reproductivo (R), reproductivo senescente (RS) o senescente (S). Se consideraron como frondas juveniles aquellas que no presentaron estructuras reproductoras (receptáculos) y de apariencia sana (color claro, sin epífitos y estructura firme). Las frondas reproductivas fueron aquellas que presentaron receptáculos y en las que aun no se iniciaba la senectud. Se

consideraron en la categoría reproductivo-senescente (RS) las frondas con estructuras reproductoras y en las que se había iniciado la senectud (inicio del desprendimiento de las partes apicales). Las frondas senescentes (S) fueron aquellas en las que ya se habían desprendido la mayor parte de las ramas; las ramas que permanecían presentaron escasos filoides, pocas vesículas y algunos receptáculos vacíos. Las frondas senescentes son las que presentan una coloración oscura y frecuentemente presentan altas densidades de algas epifíticas.

7.3 TRABAJO DE GABINETE

7.3.1 Dinámica anual de la densidad y biomasa

Para describir los cambios en la densidad y biomasa durante el período de estudio se representó gráficamente el promedio y el error estándar mensual. Para determinar si se podían evidenciar diferencias temporales, se aplicaron pruebas estadísticas *a priori* para corroborar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas requeridos por la estadística paramétrica (Sokal y Rohlf 1995, Zar 1999). Con este fin se aplicaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov para normalidad y de Bartlett para homogeneidad de varianzas (Zar 1999).

De no cumplirse los supuestos se aplicó un análisis de varianza por rangos de Kruskal-Wallis (Zar 1999) para determinar si existían diferencias en biomasa y densidad con respecto al tiempo. Cuando se encontraron diferencias significativas se aplicó una prueba *a posteriori* de Nemenyi, con la finalidad de detectar los pares de meses en los que las diferencias eran significativas. La prueba de Nemenyi es el equivalente no paramétrico de la prueba de Tukey (Zar 1999).

7.3.2 Dinámica anual de la estructura de tallas

Construcción de intervalos:

Los intervalos se determinaron siguiendo el algoritmo propuesto por Vandermeer (1978). Mediante este procedimiento se cuenta con una guía para construir los intervalos de talla tomando en cuenta dos tipos de error. El error de muestreo (EM) se comete cuando los intervalos son muy pequeños; esto lleva a que los individuos tengan poca probabilidad de estar en el mismo intervalo a pesar de que compartan características similares de la variable de interés. El error de distribución (ED) ocurre cuando los intervalos son demasiado grandes; cuando esto sucede se corre el riesgo de tener en el mismo intervalo organismos con diferentes características, ya que la probabilidad de caer en un intervalo grande es alta. Cuando la suma de ambos errores es mínima se considera que el tamaño del intervalo es el óptimo (Moloney 1986).

Para calcular los errores antes mencionados se programó el algoritmo propuesto por Vandermeer (1978) utilizando MatLab 5.3. Las fórmulas principales son las siguientes:

ERROR DE MUESTREO

$$EM = (P_m(1)-P')^2 + (P_m(2)-P')^2$$

donde:

P'= Probabilidad de permanecer en el intervalo del tiempo 1 al tiempo 2.

P_m(1)= Probabilidad de permanecer en el intervalo del tiempo 1 al 2, al dividir en dos el total de individuos y considerar únicamente la parte que posea la menor tasa de crecimiento.

P_m(2)= Probabilidad de permanecer en el intervalo del tiempo 1 al 2, al dividir en dos el total de individuos y considerar únicamente la parte que posea la mayor tasa de crecimiento.

ERROR DE DISTRIBUCIÓN

$$ED = (P_d(1)-P')^2 + (P_d(2) - P')^2$$

donde:

P'= Probabilidad de permanecer en el intervalo del tiempo 1 al 2.

P_d(1)= Probabilidad de que un individuo permanezca en el intervalo al sumar el incremento al inicio del intervalo.

P_d(2)= Probabilidad de que un individuo permanezca en el intervalo al sumar el incremento al final del intervalo.

Para aplicar el algoritmo en MatLab (apéndice I) se requiere alimentarlo con un archivo de datos en formato de texto (nombre.txt). El archivo debe contener dos columnas. La primera es la longitud de las frondas en el tiempo 1 y la segunda, la longitud de cada fronda de la columna 1 en el tiempo dos.

Se utilizaron los datos de longitud obtenidos en el muestro de mayo (n=2111). Aplicando la tasa de crecimiento para diferentes grupos de talla, obtenida en el período mayo-junio en este trabajo, se estimó la longitud que cada fronda tendría en junio. Una vez que se ingresa el archivo de datos es necesario alimentar el algoritmo con un tamaño de intervalo especificado en el programa como M_{\min} (límite inferior del intervalo) y M_{\max} (límite superior del intervalo).

Así, el primer intervalo es el que comprende el total de los organismos, es decir, el límite inferior (M_{\min}) es la talla menor y el límite superior (M_{\max}) es la talla mayor. Una vez ingresado el intervalo, el algoritmo va a calcular los dos errores para ese primer intervalo. Acto seguido calculará los dos errores para un intervalo un milímetro menor que el anterior y así sucesivamente hasta un milímetro antes de que M_{\max} iguale a M_{\min} .

El algoritmo suma los errores y genera una gráfica con la talla en el eje de las abscisas y la suma de errores en el eje de las ordenadas. La longitud en la que la suma de errores es mínima se elige como límite superior del primer intervalo. Para determinar el siguiente intervalo, el valor de M_{\max} obtenido en el intervalo anterior fungirá ahora como límite inferior del intervalo y la talla máxima encontrada como límite superior nuevamente. Se repiten todas las operaciones hasta determinar el último intervalo.

Estimación de biomasa por fronda:

Con la finalidad de estimar la biomasa individual de las frondas, para su utilización en el cálculo del coeficiente de Gini, se determinó la relación existente entre la talla y la biomasa de las frondas a partir de los datos de las frondas que se pesaron y midieron cada mes. Se ajustó un modelo mensual teniendo como mínimo 113 frondas en febrero y como máximo 264 en marzo. A partir de los parámetros estimados, mediante los modelos para cada mes, se calculó la biomasa de cada fronda colectada dado que se contaba con su talla.

Descriptores de la estructura de tallas

Se represento gráficamente la estructura de tallas de la población utilizando la talla promedio y el error estándar por clase de talla.

Como descriptores de la estructura de talla se calcularon la talla media y el coeficiente de Gini tanto en biomasa como en longitud para cada mes. Para el caso de la talla media se calculó la talla promedio y su error estándar para cada mes. Para calcular el coeficiente de Gini se aplicó la formula propuesta por Sen (1973, en Weiner y Solbrig 1984)

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |x_i - x_j|}{2n^2 \bar{X}}$$

donde:

| |= Valor absoluto

G= Coeficiente de Gini

x= Representa a cada dato

n= Número de datos en total

\bar{X} = Media

i= Cada una de las observaciones

j= i+1

G representa el promedio aritmético del valor absoluto de las diferencias entre todos los pares de individuos. Toma valores entre cero y uno, donde un valor de G=0 representa a una población en la que todos los individuos son iguales, mientras que G=1 es el máximo teórico en una población infinita en la que todos los individuos son iguales excepto uno (Weiner y Solbrig 1984). Para su cálculo se programó el algoritmo en MatLab 5.3 (apéndice II). El coeficiente de Gini se calculó por cuadrante, tanto en biomasa como en longitud y se obtuvo el promedio y el error estándar por mes.

7.3.3 Estadio de desarrollo y tasas demográficas

7.3.3.1 Estadio de desarrollo

Se determinó el porcentaje de cada estadio de desarrollo, juvenil, reproductivo, reproductivo-senescente y senescente. Dichos datos fueron analizados gráficamente por clase de talla y por mes.

7.3.3.2 Tasa de crecimiento

Para estimar la tasa de crecimiento se obtuvo la longitud de las plantas marcadas en el tiempo uno y posteriormente la longitud de esa misma planta en el tiempo dos. Sustrayendo la longitud del tiempo 1 de la longitud del tiempo 2 se obtuvo el incremento en longitud por mes. Dividiendo entre el tiempo (en días) que transcurrió se obtuvo el crecimiento diario.

$$C_d = L_{t+1} - L_t / t$$

donde:

C_d = tasa de crecimiento diario (cm/día)

L_t = Longitud de la fronda al inicio (cm)

L_{t+1} = Longitud de la fronda al final (cm)

t = Tiempo transcurrido entre L_t y L_{t+1}. (días)

Se comparó la tasa de crecimiento entre clases de talla para cada período. Cuando los datos cumplían los supuestos de normalidad y homogeneidad de

varianzas se aplicó análisis de varianza de una vía, en caso contrario la comparación se llevo a cabo mediante el análisis de varianza por rangos de Kruskal-Wallis. Se comparó la tasa de crecimiento entre meses considerando juntas las clases de talla que se podían considerar iguales.

7.3.3.3 Tasa relativa de mortalidad

La tasa relativa de mortalidad (%) se estimó a partir del número de frondas recuperadas con respecto al número de frondas marcadas. Debido a que no fue posible evaluar la tasa de pérdida de marcas, no se consideró el efecto por dicha pérdida.

$$M = \frac{N_t - N_{t+1}}{N_t} * 100$$

donde:

M = Tasa relativa de mortalidad (%).

N_t = Número de frondas marcadas en el tiempo t.

N_{t+1} = Número de frondas recuperadas en el tiempo t+1.

Se calculó también el número de frondas que mueren por metro cuadrado, para lo que se utilizaron los datos de densidad y mortalidad porcentual por clase de talla, así:

$$M_d = (D * M)/100$$

donde:

M_d = Mortalidad (frondas/m²)

D = Densidad (frondas/m²)

M = Mortalidad porcentual

Para evaluar si existe competencia intraespecífica se compararon, mediante análisis de variancia, las tasas relativas de mortalidad por clase de talla para cada período y posteriormente entre períodos

7.3.3.4 Tasa de reclutamiento a la primera clase de talla

El reclutamiento a la primera clase de talla se estimó a partir de los datos de densidad, tasa de crecimiento y tasa de mortalidad. Es decir, la densidad que se presentó en un tiempo t+1 estuvo determinada por la densidad que se presentó en el tiempo t, más los individuos que se reclutaron en ese tiempo, menos los que murieron y los que crecieron pasando a la siguiente clase de talla. Si se conoce la densidad, la tasa de crecimiento y mortalidad por clase de talla, se puede inferir el reclutamiento a partir de dichas variables. Esto se expresa como sigue:

$$D_{t+1} = D_t - M - C + F + R_1$$

Despejando se obtiene:

$$R_1 = D_{t+1} - D_t + M + C - F$$

donde:

D_{t+1} = Densidad de frondas de la primera clase en el tiempo t+1

D_t = Densidad de frondas de la primera clase en el tiempo t

M = Densidad de frondas de la primera clase de talla que murieron del tiempo t al tiempo t+1 (frondas/m²)

C = Densidad de frondas que crecieron y cambiaron de la primera a la segunda clase de talla del tiempo t al tiempo t+1 (frondas/m²)

F = Densidad de frondas que disminuyeron en tamaño y cambiaron de la segunda a la primera clase de talla (frondas/m²) del tiempo t al tiempo t+1

R_1 = Reclutamiento a la primera clase de talla (frondas/m²)

7.3.4 Variables ambientales

Temperatura

Se obtuvo la temperatura superficial del mar utilizando la serie de Reynolds provista por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). A través de la serie de Reynolds se proveen la temperatura superficial del mar (TSM) en cuadrantes de 1° por 1° utilizando información de boyas oceánicas y extrapolaciones de ser necesario.

Nutrientes

En las fechas de las colectas se tomaron muestras de agua de mar para analizar nutrientes. Estas muestras se tomaron en botellas de plástico sumergiendo la botella a media agua hasta que se llenara. La colecta se realizó en dos puntos a lo largo del transecto aproximadamente a medio día. Las botellas se colocaron en hielo para ser transportadas a laboratorio en donde fueron congeladas a -20°C y posteriormente analizadas para determinar concentración de nitratos mediante la técnica propuesta por Strickland y Parsons (1972) aplicadas en el laboratorio de Biogeoquímica del CIBNOR.

Fotoperíodo

Se obtuvo la duración del día en horas mediante el programa Mar V0.51 provisto por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) en el que se obtiene la hora a la que sale y se pone el sol.

8. RESULTADOS

Se realizaron 9 colectas entre febrero del 2000 y febrero del 2001 obteniéndose un total de 18,350 frondas (Tabla I). Se cuenta con datos de densidad, biomasa y estructura de tallas de la población para nueve meses (Tabla I). Además, se determinó la tasa de crecimiento y la tasa de mortalidad para cinco períodos (febrero-marzo, marzo-abril, mayo-junio, agosto-septiembre y febrero-marzo 2001) y el reclutamiento para tres períodos (febrero-marzo, mayo-junio y agosto-septiembre) (Tabla I).

Tabla I. Meses (representado por X) en los que se determinó densidad (n= No. de cuadrantes), biomasa (n= No. de cuadrantes), estructura de tallas (n= No. de frondas), crecimiento (n= frondas marcadas recuperadas), mortalidad (n= frondas marcadas) y reclutamiento a la primera clase de talla (Recl. 1ra.). Febrero (Fb), marzo (Mr), abril (Ab), mayo (My), junio (Jn), agosto (Ag), septiembre (Sp), noviembre (Nv), febrero 2001 (Fb2) y marzo 2001 (Mr2).

Mes	Densidad	Biomasa	Estructura de tallas	Crecimiento	Mortalidad	Recl. 1ra
Fb (2000)	X n=30	X n=30	X n=803			
Mr(2000)	X	X	X n=5823	X n=62	X n=99	X
Ab (2000)	X	X	X n=2927	X n=42	X n=55	
My (2000)	X	X	X n=2111			
Jn (2000)	X	X	X n=3224	X n=135	X n=252	X
Ag (2000)	X	X	X n=1675			
Sp (2000)	X	X	X n=410	X n=8	X n=110	X
Nv (2000)	X	X	X n=753			
Fb2 (2001)	X	X	X n=634			
Mr2 (2001)				X n=42	X n=49	

8.1 ESTRUCTURA Y DINÁMICA POBLACIONAL

8.1.1 DINÁMICA ANUAL DE LA BIOMASA Y DENSIDAD

La densidad promedio general fue de 277 fr/m², con un valor mínimo en septiembre de 55 fr/m² y máximo en marzo de 776 fr/m². La densidad promedio aumentó entre febrero y marzo a 776 fr/m² (Fig. 3), con una posterior disminución, con valores intermedios que se mantuvieron medianamente homogéneos entre abril y agosto (de 392 a 223 fr/m²); posteriormente se alcanzaron los valores mínimos de septiembre a febrero 2001).

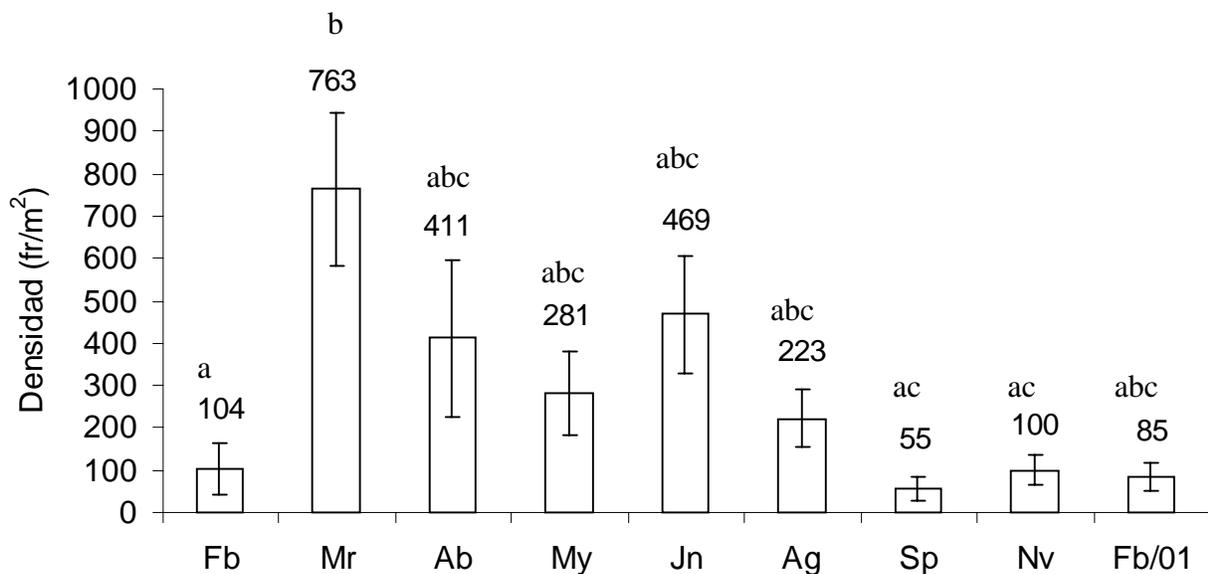


Figura 3. Variación de la densidad de *Sargassum lapazeanum* del suroeste del golfo de California de febrero del 2000 a febrero del 2001. (Media \pm Error Estándar). Las letras indican los grupos formados por la comparación múltiple no paramétrica de Nemenyi al 95% de confianza, letras iguales = no diferencia significativa.

Al realizar las pruebas *a priori* para las distribuciones de los datos de densidad se observó que los datos no pueden ser considerados normales (Tabla II). Adicionalmente, las distribuciones presentaron diferentes varianzas mensuales (Tabla II), por lo que se utilizó el análisis de variancia no paramétrico de Kruskal-Wallis para su comparación.

Tabla II. Pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Bartlett) aplicadas a los datos mensuales de densidad y biomasa.

Prueba	Densidad		Biomasa	
	Est. de prueba	p	Est. de prueba	p
Kolmogorov-Smirnov	d=0.318	< 0.01	d=0.336	< 0.01
Bartlett	X ² =182.93	<0.0001	X ² =186.65	<0.0001

El análisis de varianza indicó la existencia de diferencias significativas entre los meses (H= 24.01, p=0.002). Entre marzo, abril, mayo, junio y agosto no se evidenciaron diferencias estadísticas significativas. En septiembre y noviembre las densidades promedio bajaron, pero sólo fueron significativamente distintas de marzo, debido a la alta variabilidad (varios cuadrantes con ceros) entre abril y agosto (Tabla III). Por último, hacia noviembre se presentó un aumento, probablemente relacionado con el inicio del crecimiento de la generación subsecuente.

Tabla III. Prueba de Nemenyi aplicada a los datos de densidad de *Sargassum lapazeanum* del suroeste del golfo de California de febrero del 2000 a febrero del 2001. Se reporta la probabilidad (p) de rechazar la hipótesis nula (H_0 = No hay diferencia entre los meses, n.s. =No significativo).

	Fb	Mr	Ab	My	Jn	Ag	Sp	Nv	Fb2
Fb		<0.05	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Mr			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	<0.05	<0.05	n.s.
Ab				n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
My					n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Jn						n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ag							n.s.	n.s.	n.s.
Sp								n.s.	n.s.
Nv									n.s.

Por su parte, la biomasa promedio general fue de 149 g/m², con un mínimo en septiembre (3 g/m²) y un máximo en mayo (448 g/m²). De forma semejante a la densidad, la biomasa promedio aumentó entre febrero y marzo, pero continuó con su tendencia positiva hasta mayo (Fig. 4). En junio inició su disminución, la cual fue notoria a partir de agosto. En febrero inició nuevamente un incremento.

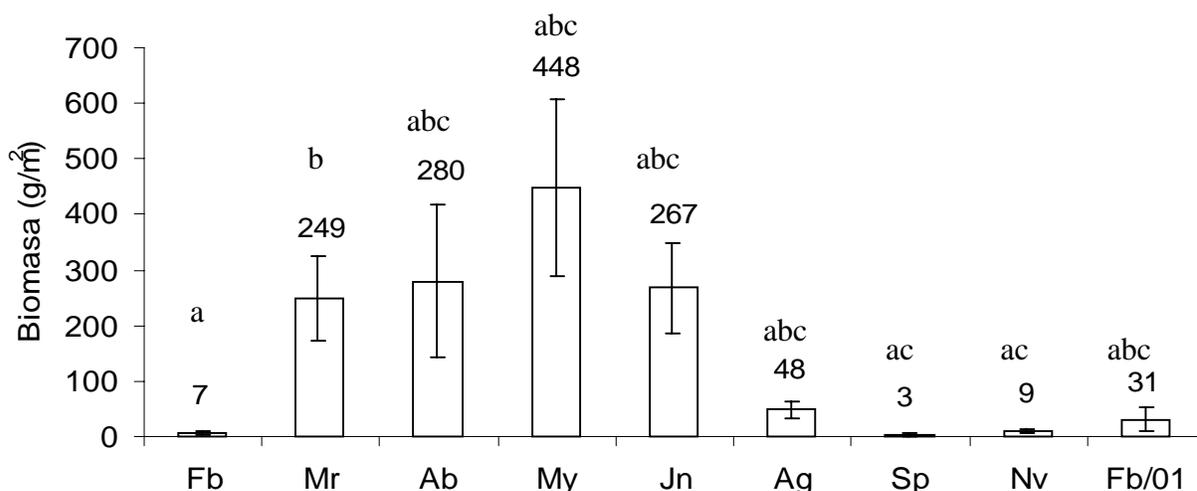


Figura 4. Variación de la biomasa de *Sargassum lapazeanum* del suroeste del golfo de California de febrero del 2000 a febrero del 2001 (Media ± Error Estándar). Las letras indican los grupos formados por la comparación múltiple no paramétrica de Nemenyi al 95% de confianza, letras iguales = no diferencia significativa.

Las pruebas *a priori* para las distribuciones de los datos de biomasa indicaron que los datos no pueden ser considerados normales (Tabla II). Además, las distribuciones presentaron varianzas mensuales diferentes (Tabla II). Por lo anterior, para su comparación, se utilizó un análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis.

El análisis de varianza para las biomásas mostró la existencia de diferencias significativas entre los meses ($H=25.92$, $p=0.001$). La biomasa promedio aumentó significativamente entre febrero y marzo (Fig. 4, Tabla IV). Nuevamente, entre marzo, abril, mayo, junio y agosto no se evidenciaron diferencias estadísticas significativas. En septiembre y noviembre la biomasa promedio bajó, pero sólo fue significativamente distinta de marzo.

Tabla IV. Prueba de Nemenyi aplicada a los datos de biomasa de *Sargassum lapazeanum* del suroeste del golfo de California de febrero del 2000 a febrero del 2001. Se reporta la probabilidad (p) de rechazar la hipótesis nula (H_0 = No hay diferencia entre los meses, n.s.= No significativo).

	Fb	Mr	Ab	My	Jn	Ag	Sp	Nv	Fb2
Fb		<0.05	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Mr			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	<0.05	<0.05	n.s.
Ab				n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
My					n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Jn						n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ag							n.s.	n.s.	n.s.
Sp								n.s.	n.s.
Nv									n.s.

La biomasa total y la densidad de frondas durante la época de crecimiento (febrero a mayo) presentaron una relación positiva significativa ($r=0.56$, $p<0.001$, Fig. 5), lo cual indica ausencia de autorraleo en la población.

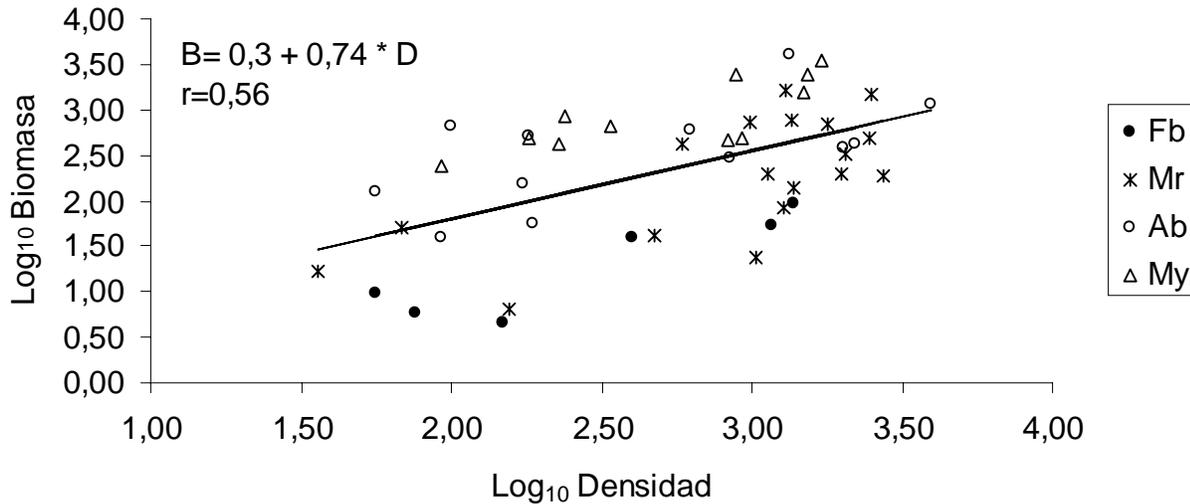


Figura 5. Variación temporal de la relación entre \log_{10} (biomasa) y \log_{10} (densidad de frondas) para *Sargassum lapazeanum* del suroeste del golfo de California. Fb= febrero, Mr= marzo, Ab= abril, My= mayo.

Al analizar la correlación entre las variables ambientales: temperatura, fotoperíodo, nutrientes y la hora de la marea más baja, se encontró una correlación significativa entre el fotoperíodo y la biomasa y entre la hora de la marea más baja y la biomasa al 90 % de confianza (Tabla V). Las mayores biomásas ocurren cuando los días son más largos y las mareas bajas se presentan durante la madrugada (Figs. 6 y 7).

Tabla V. Coeficientes de correlación y nivel de probabilidad para la relación entre las variables ambientales y las variables poblacionales densidad y biomasa de *Sargassum lapazeanum* del suroeste del golfo de California en el período de crecimiento de febrero a mayo del 2000. En negrita se resaltan las relaciones significativas al 90 y 95% de confianza.

Variable	Densidad		Biomasa	
	r	p	r	p
Temperatura	r= -0.39	p= 0.29	r= 0.31	p=0.41
Fotoperíodo	r= 0.38	p= 0.31	r= 0.70	p= 0.03
Nutrientes	r= 0.39	p= 0.33	r= -0.46	p= 0.28
Hora marea baja	r= -0.28	p= 0.46	r= -0.63	p= 0.06

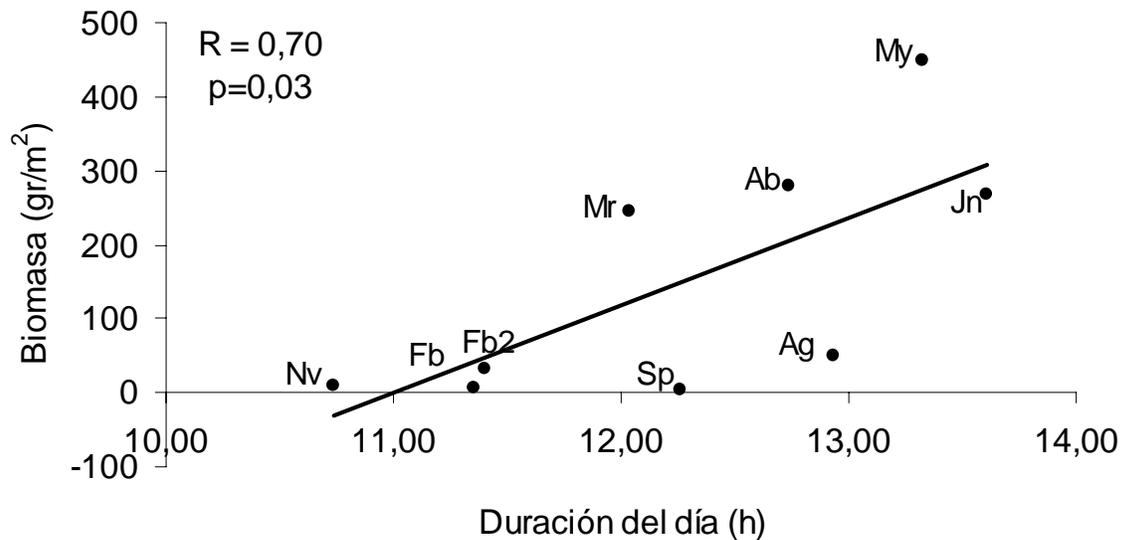


Figura 6. Relación temporal de la biomasa con respecto a la duración del día (fotoperíodo) para *Sargassum lapazeanum* del suroeste del golfo de California.

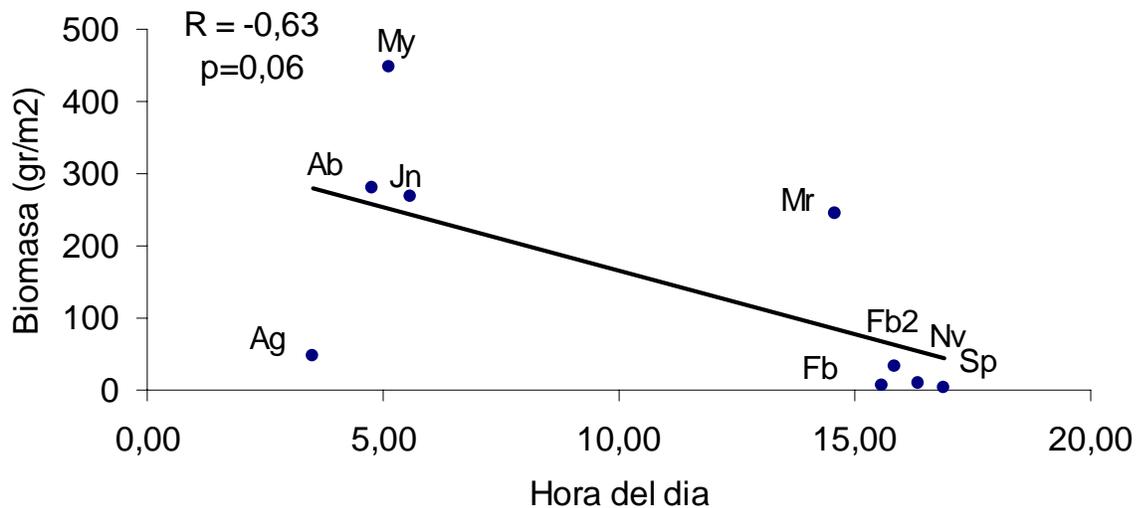


Figura 7. Relación temporal de la biomasa con respecto a la hora en que ocurren las mareas bajas para *Sargassum lapazeanum* del suroeste del golfo de California.

Es de resaltar que se observó un solo valor de biomasa promedio alto cuando la marea baja ocurrió de día (marzo) y un valor de biomasa promedio bajo cuando la marea baja fue de noche (agosto), lo que se explica al recordar que es precisamente en marzo y agosto cuando se dan los cambios en la ocurrencia de la marea baja entre el día y la noche.

8.1.2 DINÁMICA ANUAL DE LA ESTRUCTURA DE TALLAS

8.1.2.1 Determinación de clases de talla

Utilizando el algoritmo de Vandermeer (1978) aplicado para los datos mayo-junio, se eligieron seis intervalos de talla (0-6, 6-20, 20-40, 40-60, 60-80 y > 80 cm) (Fig. 8).

Figura 8. Gráficas de la suma de errores (Error de Muestreo + Error de Distribución) generados por el algoritmo de Vandermeer. Se muestran los límites superiores elegidos para formar los intervalos de clases de talla. A= 6, B=20, C=40, D=60, E=80 y F >80.

8.1.2.2 Estimación de biomasa por fronda

Para todos los meses el modelo potencial describió significativamente la relación entre la biomasa y la longitud de las frondas (Tabla VI). Se contó con un mínimo mensual de 113 datos (febrero) y un máximo (marzo) de 264. A partir de los parámetros estimados mensualmente (tabla VI) se calculó la biomasa de cada fronda colectada, dado que se contaba con su talla.

Tabla VI. Parámetros de ajuste del modelo potencial ($B = a L^b$) para la relación biomasa-longitud de las frondas de *Sargassum lapazeanum*. En negrita se resaltan los ajustes significativos al 95% de confianza.

Mes	A	b	R	p	n
Fb	0.024	1.669	0.765	<0.001	113
Mr	0.007	2.101	0.858	<0.001	264
Ab	0.001	2.4	0.858	<0.001	229
My	0.005	1.333	0.677	<0.001	220
Jn	0.029	1.555	0.755	<0.001	241
Ag	0.018	1.743	0.755	<0.001	220
Sp	0.076	1.677	0.689	<0.001	124
Fb2	0.047	1.439	0.907	<0.001	207

8.1.2.3 Descriptores de la estructura de tallas

Se observaron cambios en la estructura de tallas dependientes del tiempo (Fig. 9). En febrero sólo estuvieron presentes frondas del primer intervalo con tallas de 0.2 a 6 cm. Entre marzo y mayo se presentaron frondas en todos los intervalos. En marzo se presentaron frondas de hasta 38 cm y para abril y mayo ya se encontraron frondas de todos los intervalos con una talla máxima de 90 cm en abril y de 82 cm en mayo. Cabe mencionar que la frecuencia de ocurrencia de las frondas a partir de 40 cm fue siempre muy baja. A partir de junio no se presentaron frondas mayores a 60 cm y para agosto sólo se encontraron frondas de 0-6 y de 6-20 cm siendo mayor la proporción de frondas pequeñas. Entre septiembre y noviembre nuevamente se presentaron sólo ejemplares del primer intervalo y por último, en febrero del 2001 se alcanzó una talla de 30 cm (Fig. 9).

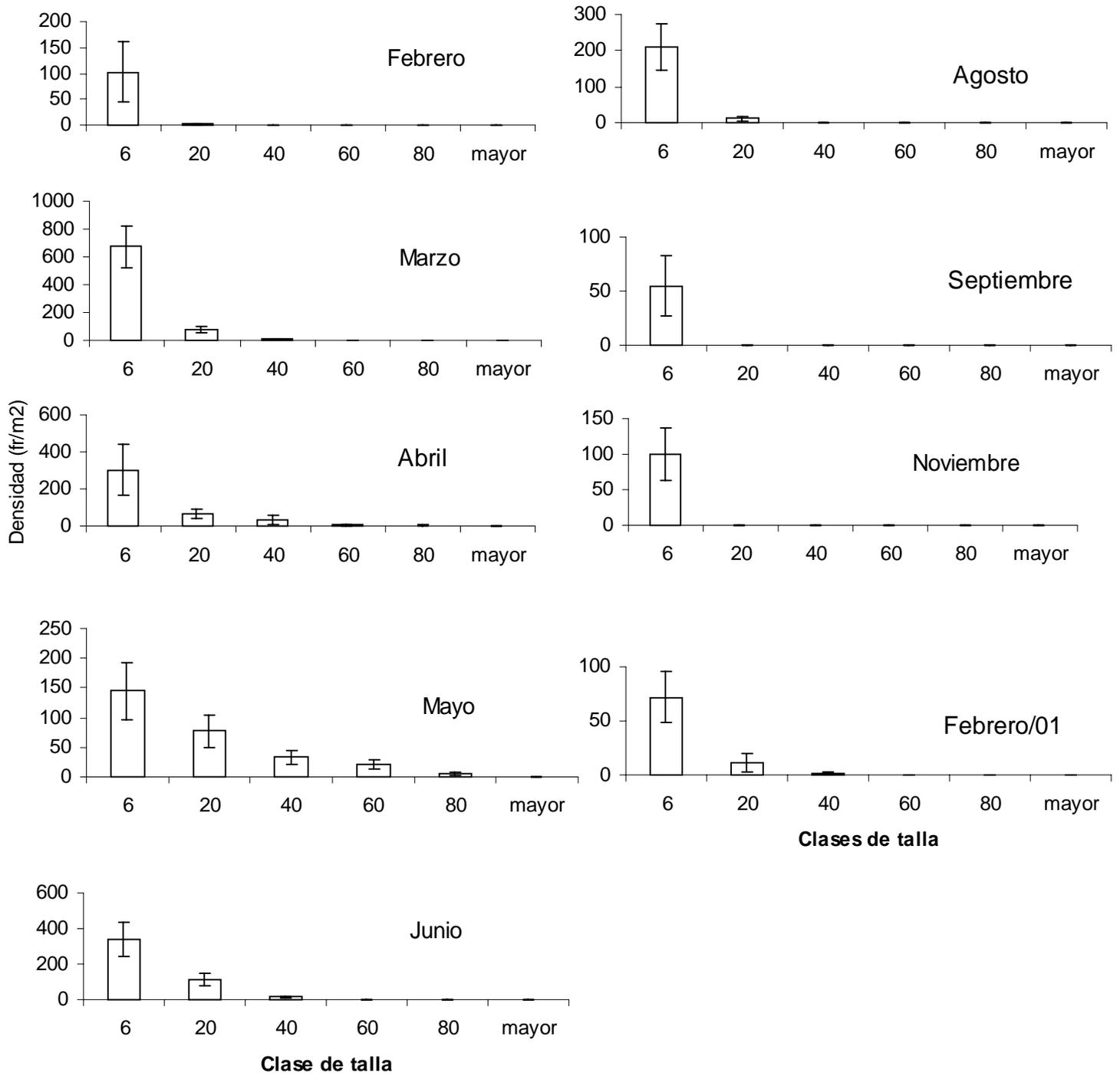


Figura 9. Estructura de tallas de *Sargassum lapazeanum*, de febrero del 2000 a febrero del 2001. (Densidad Media \pm Error Estándar).

8.1.2.3.1 Talla media

La talla media aumentó desde el inicio del estudio hasta finales de primavera (Fig. 10). Posteriormente disminuyó a partir de junio y se mantuvo baja hasta noviembre. Entre noviembre y febrero/2001 se observó un incremento con valores parecidos a los del inicio del estudio (febrero 2000, $1,8 \pm 0,29$ cm; febrero 2001, $2,3 \pm 0,4$ cm, $p > 0,05$).

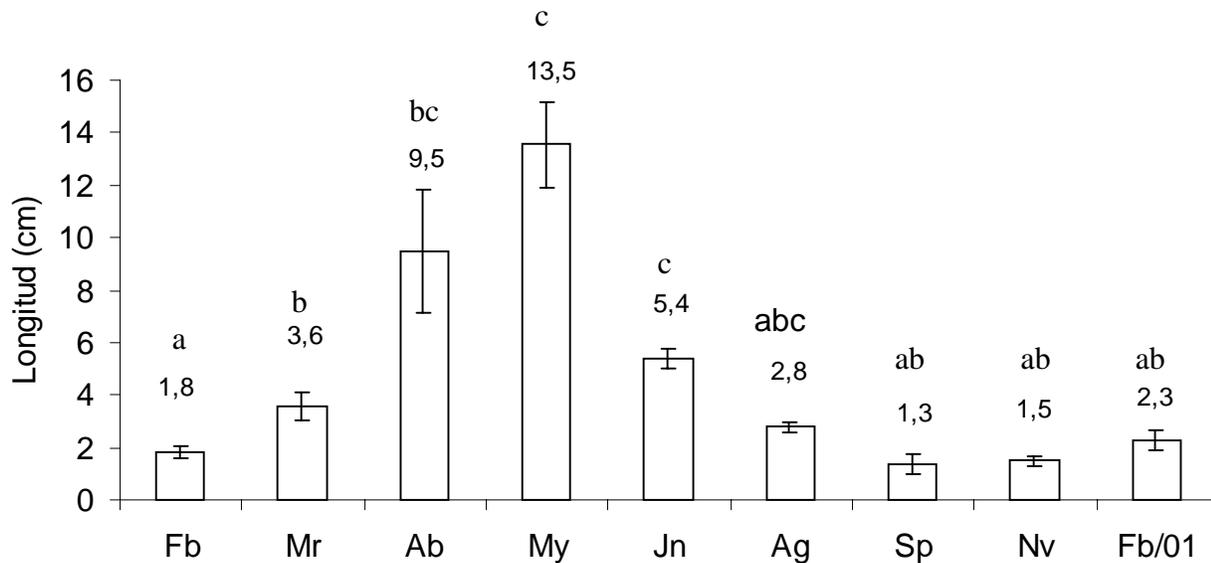


Figura 10. Talla media de *Sargassum lapazeanum* de febrero del 2000 a febrero del 2001. (Media \pm Error Estándar). Las letras indican los grupos formados por la comparación múltiple no paramétrica de Nemenyi al 95% de confianza, letras iguales = no diferencia significativa.

Las pruebas *a priori* indicaron que los datos no pueden considerarse normales; además sus varianzas fueron heterogéneas (Tabla VII). El análisis de Kruskal-Wallis mostró que existieron variaciones significativas a lo largo del tiempo ($H=65.33$ $p < 0.001$). El aumento entre marzo y abril fue significativo. Posteriormente, la talla disminuyó de forma significativa en junio. Los valores de significación de la comparación múltiple entre los meses se observan en la tabla VIII.

Tabla VII. Pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Bartlett) para la talla media mensual en la población de *Sargassum lapazeanum* del suroeste del golfo de California.

Talla media		
Prueba	Est. de prueba	P
Kolmogorov-Smirnov	d=0.208	< 0.01
Bartlett	$X^2=126.32$	< 0.0001

Tabla VIII. Valores de probabilidad de la prueba de Nemenyi para la talla media de *Sargassum lapazeanum* n.s.= No significativo.

	Fb	Mr	Ab	My	Jn	Ag	Sp	Nv	Fb2
Fb		n.s.	<0.05	<0.05	<0.05	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Mr			n.s.	<0.05	<0.05	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ab				n.s.	n.s.	n.s.	<0.05	<0.05	<0.05
My					n.s.	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Jn						n.s.	<0.05	<0.05	<0.05
Ag							n.s.	n.s.	n.s.
Sp								n.s.	n.s.
Nv									n.s.

Las tallas menores promedio se presentaron en otoño e invierno, cuando la población estuvo constituida por dos tipos de frondas: las remanentes de la primavera anterior y las nuevas frondas (de apariencia sana). Pese a que en el presente estudio no se determinó el tiempo de vida de las frondas, en febrero del 2001 se observó una proporción alta (57%) de plantas senescentes del ciclo anterior, las cuales formaron parte importante de la población, al menos al inicio de la temporada del 2001.

8.1.2.3.2. Desigualdad de tallas

La desigualdad de talla presentó valores altos durante la primavera y principios de verano. La máxima desigualdad promedio se presentó en mayo tanto en longitud ($G=0.54$) como en biomasa ($G=0.74$). A fines de verano la desigualdad disminuyó notablemente alcanzando su valor mínimo en septiembre, $G=0.19$ en longitud y $G=0.28$ en biomasa.

Las pruebas *a priori* indicaron que el coeficiente de Gini en longitud y biomasa se distribuyó de forma normal, con varianzas homogéneas en ambos casos (tabla IX). Los análisis de varianza de una vía indicaron que para ambas variables existieron diferencias significativas entre los meses (longitud: $F_{0.05,8,91}=F=19.31$, $p<0.001$; biomasa: $F_{0.05,8,91}=F=24.32$, $p<0.001$).

Tabla IX. Pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Bartlett) para el coeficiente de Gini en longitud y biomasa de la población de *Sargassum lapazeanum* del suroeste del golfo de California.

Prueba	Gini en longitud		Gini en biomasa	
	Est. De prueba	p	Est. de prueba	p
Kolmogorov-Smirnov	D=0.057	0.097	d=0.484	0.58
Bartlett	$\chi^2=15.47$	0.128	$\chi^2=14.39$	0.07

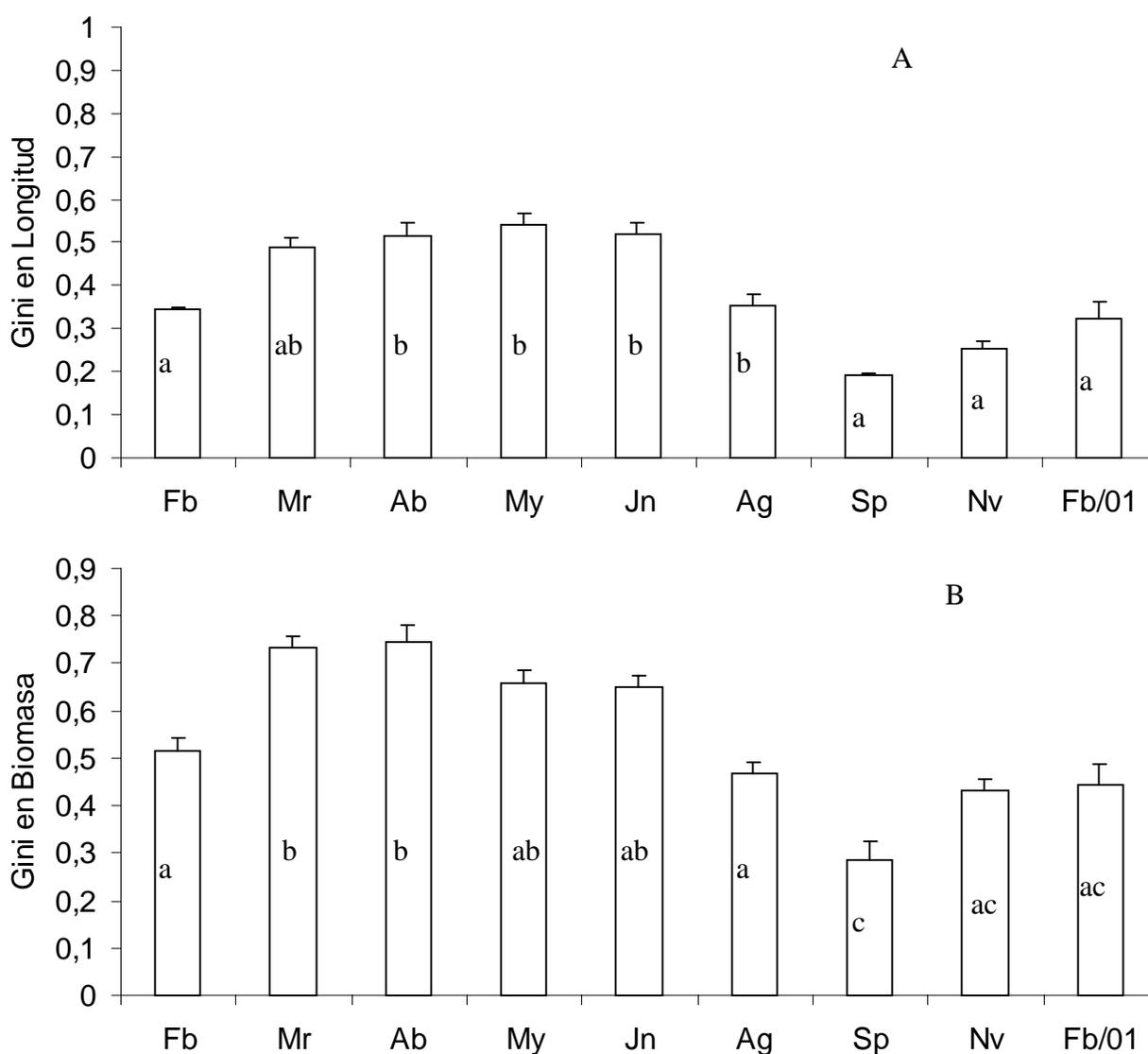


Figura 11. Valores del Coeficiente de Gini en longitud (A) y en biomasa (B) para la distribución de tallas a lo largo del tiempo (Media \pm Error Estándar). Las letras indican los grupos formados por la comparación múltiple Tukey al 95% de confianza, letras iguales = no diferencia significativa.

Respecto a la longitud, la desigualdad promedio de tallas aumentó entre febrero (G=0.31) y marzo (G=0.49), pero el aumento no fue significativo sino hasta abril (G= 0.51), se mantuvo estable hasta junio, bajó significativamente en agosto (G=0.35) y se mantuvo estable hasta febrero del 2001, que fue similar al mismo mes del año anterior (Fig. 11 A, Tabla X).

Tabla X. Valores de probabilidad de la prueba de Tukey para el coeficiente de Gini en longitud. En negrita se resalta las comparaciones significativas al 95 % de confianza.

	Fb	Mr	Ab	My	Jn	Ag	Sp	Nv	Fb2
Fb		.1462	0.0447	0.0082	0.0293	1	0.0777	0.6881	0.9999
Mr			0.9991	0.8946	0.9917	0.0106	0.0001	0.0002	0.0002
Ab				0.9976	1	0.0012	0.0001	0.0001	0.0001
My					0.9997	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
Jn						0.0006	0.0001	0.0001	0.0001
Ag							0.0552	0.4031	0.9948
Sp								0.9499	0.2282
Nv									0.8427

El coeficiente de Gini, en biomasa, subió significativamente entre febrero (G=0.52) y marzo (G=0.74), se mantuvo estable hasta junio (G=0.65), bajó significativamente en agosto (G=0.47) y se mantuvo estable hasta el siguiente febrero, cuyo valor fue estadísticamente similar al mismo mes del año anterior (Fig. 11B). El nivel de significación de todas las comparaciones entre pares de meses, realizadas mediante la prueba de Tukey, aparece en la Tabla XI.

Tabla XI. Valores de probabilidad de la prueba de Tukey para el coeficiente de Gini en biomasa. En negrita se resalta las comparaciones significativas al 95 % de confianza.

	Fb	Mr	Ab	My	Jn	Ag	Sp	Nv	Fb2
Fb		0.0100	0.0059	0.2893	0.3681	0.9952	0.0054	0.8789	0.9487
Mr			1	0.7027	0.4624	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Ab				0.5558	0.3697	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
My					1	0.0010	0.0001	0.0009	0.0002
Jn						0.0010	0.0001	0.0015	0.0002
Ag							0.0674	0.9989	0.9998
Sp								0.2609	0.1683
Nv									1

8.2 ESTADIO DE DESARROLLO Y TASAS DEMOGRÁFICAS

8.2.1 ESTADIO DE DESARROLLO

La reproducción, indicada por el porcentaje de frondas con receptáculos, se inició en abril con 0.55 % de frondas reproductivas y presentó su máximo en mayo con 27% (Fig. 12). Desde que comenzó la reproducción, las frondas reproductivas más grandes estaban rotas, 5% en mayo. En agosto se encontraron las últimas frondas reproductivas (3.9 %). A partir de septiembre, sólo se encontraron frondas vegetativas del primer intervalo de tallas tanto juveniles (73 %) como senescentes (26 %).

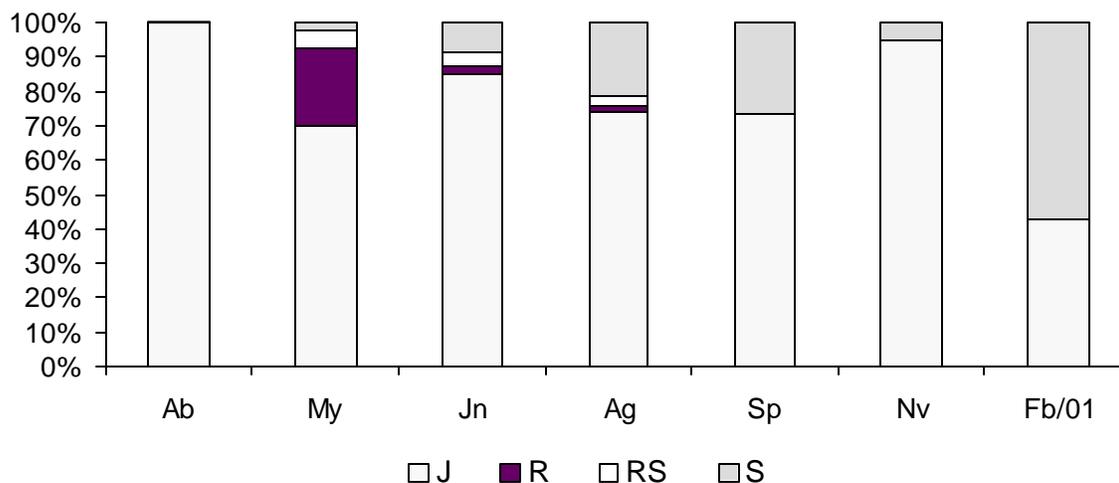


Figura 12. Porcentaje de frondas (apilado) en los diferentes estados de desarrollo de *Sargassum lapazeanum* de abril del 2000 a febrero del 2001 (J= frondas juveniles, R= frondas reproductivas, RS= frondas reproductivas-senescentes y S= frondas senescentes).

Abril fue el primer mes en el que se observaron frondas reproductivas y su porcentaje fue bajo (0.55%). Las primeras frondas reproductivas se observaron en la tercera clase de talla (20-40 cm). La talla menor a la que se observaron frondas reproductivas en este mes fue de 30 cm (Fig. 13). Al considerar las frondas a partir de la talla mínima de reproducción, el 9.8 % de éstas se encontró en estado reproductivo. En abril se inició el rompimiento de las frondas, una vez que se desarrollaron los receptáculos (Fig. 13). Cabe mencionar que la fronda observada más larga sin romperse fue de 86 cm.

La reproducción alcanzó en mayo su mayor porcentaje (27%). Es destacable que en este mes disminuyó la talla mínima de reproducción, pues exceptuando la primera clase de talla, en todas las demás se presentaron frondas reproductivas. La talla mínima de reproducción fue de 9 cm. En concordancia, a partir de la tercera clase de talla, la proporción de frondas reproductivas aumentó hasta alcanzar el 100 % en la última clase (> 80 cm). Numéricamente, la clase más importante fue la tercera, con 248 frondas, de las cuales 202 estaban en reproducción (81%). La ruptura de las frondas empezó a ser evidente en mayo (5%; Fig. 13). En respuesta a ello, en los meses subsecuentes se observó una disminución en la representatividad de las clases de talla, hasta encontrar sólo la clase menor en septiembre.

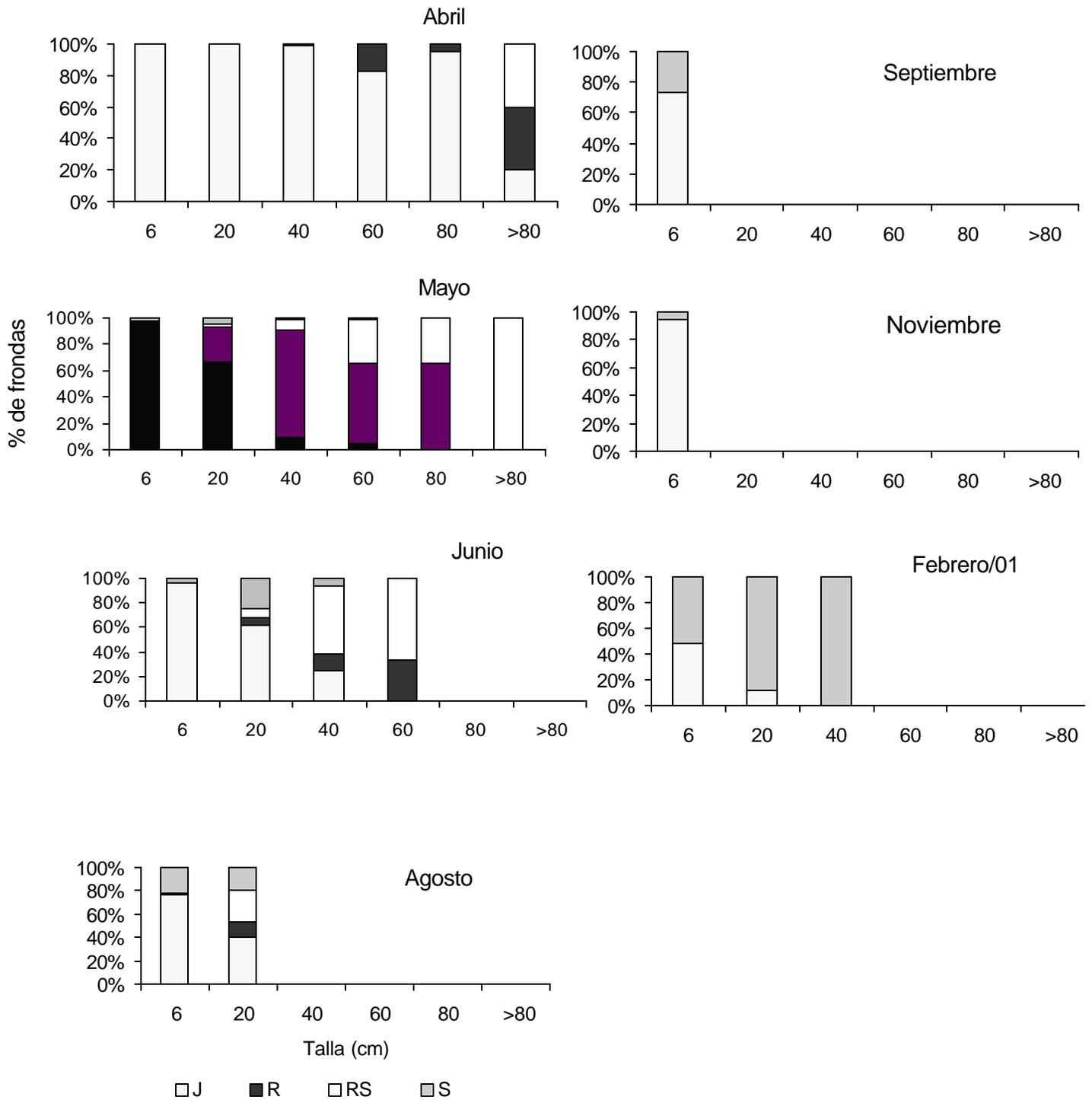


Figura 13. Porcentaje de frondas en los diferentes estados de desarrollo por clase de talla de abril del 2000 a febrero del 2001 (J= frondas juveniles, R= frondas reproductivas, RS= frondas reproductivas-senescentes y S= frondas senescentes).

En junio, la talla mínima de reproducción fue igual a la de mayo (9 cm). La proporción de frondas reproductivas disminuyó de 27% en mayo a 6.1% en junio. No se encontraron frondas de las últimas dos clases de talla en este mes. Cuando las frondas grandes se rompieron continuaron sujetas al substrato y pasaron a formar parte de clases de talla menores o se desprendieron totalmente. Parte del material desprendido por cualquiera de las vías anteriores fue arrojado a la playa y formó parte de los grandes varamientos de algas que se observaron en los meses de junio y agosto (además de *S. lapazeanum*, los varamientos estuvieron formados por otras especies, como *S. sinicola*).

En agosto, la proporción de frondas reproductivas fue la más baja (4% del total) de las cuales el 67 % ya se habían empezado a romper. En este mes se encontró una gran proporción de frondas juveniles (74%) y un 22% de frondas senescentes.

Tanto en septiembre como en noviembre, sólo se presentó la primera clase de talla compuesta por una mezcla de frondas senescentes (26 y 5 %, respectivamente) y juveniles (73 y 94 %, respectivamente). Para febrero del 2001 aumentó la proporción de frondas senescentes (Fig. 13).

Cabe mencionar que la primera clase de talla se mantuvo con una alta proporción de frondas juveniles durante todo el período de estudio.

8.2.2 TASAS DEMOGRÁFICAS

8.2.2.1 Tasa de reclutamiento a la primera clase de talla

De los tres meses para los que se determinó el reclutamiento, marzo presentó el valor más alto con 675 fr/m² reclutadas que representan el 87 % de la densidad en este mes. Se presentó una disminución en junio (298 fr/m², 69 %) y una notable baja en septiembre (35 fr/m² 65%) (Fig. 14). La densidad y el reclutamiento mostraron tendencias similares, en donde, inmediato al período de mayor reclutamiento (febrero-marzo) correspondió la más alta densidad registrada. No fue posible realizar un análisis de correlación para estas variables debido al bajo número de meses para los cuales se cuenta con información de reclutamiento.

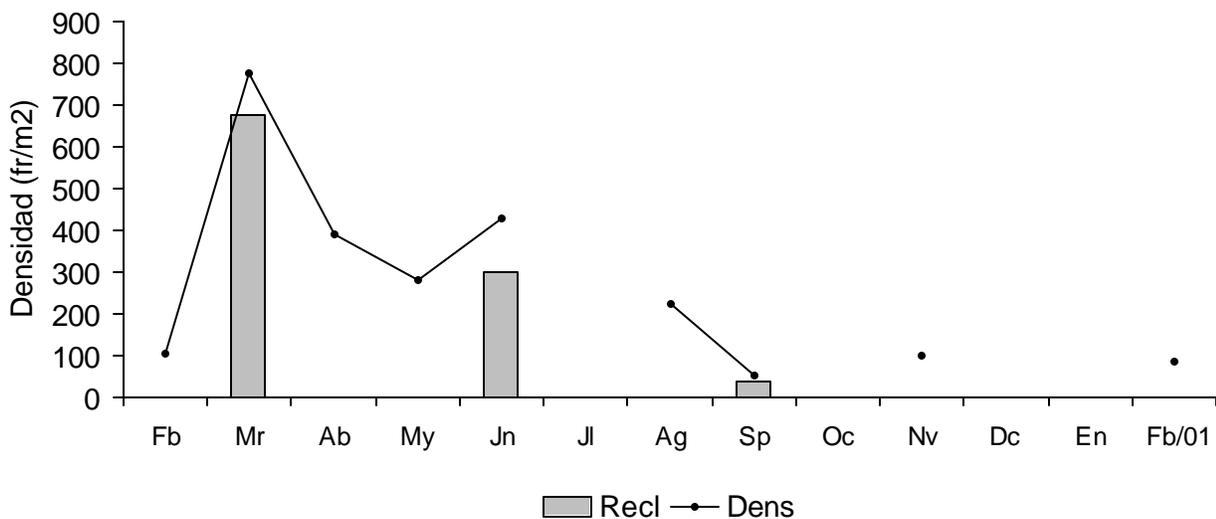


Figura 14. Densidad de frondas en el período de estudio y tasa de reclutamiento estimada para los meses de marzo, junio y septiembre.

8.2.2.2 Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento promedio mostró valores bajos entre febrero y marzo (0.57 cm/día), con un notorio incremento entre marzo y abril (1.57 cm/día), tiempo en el que alcanzó su máximo valor. Posteriormente, mostró una disminución alcanzando su valor mínimo entre mayo y junio (-0.86). Después de esto, se observó una recuperación paulatina, pero sin llegar a valores cercanos al máximo (Fig. 15).

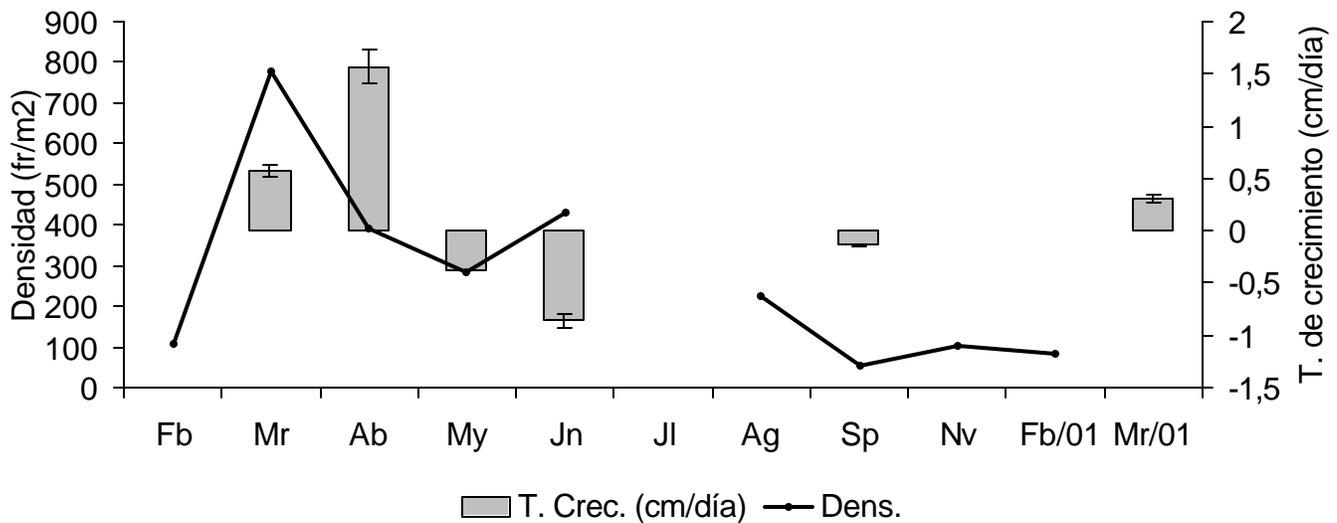


Figura 15. Densidad de frondas en el período de estudio y tasa de crecimiento (cm/día, Media \pm Error Estándar) para los meses de marzo, abril, mayo, junio, septiembre y marzo del 2001.

Al analizar el crecimiento por clase de talla (Fig. 16) se observó que a inicios y mediados de primavera, todas las clases presentes crecieron. Para fines de primavera, las frondas de las últimas dos clases (60-80 cm y > 80cm) se rompieron registrándose disminución en su tamaño.

Las comparaciones de la tasa de crecimiento entre clases de talla indican que, de febrero a abril, las dos primeras clases de talla no mostraron diferencias en su crecimiento (tabla XII). Estas dos primeras clases de talla son significativamente diferentes entre los períodos de estudio con 0.57 cm/día en febrero-marzo, 1.15 cm/día en marzo-abril y 0.31 cm/día para febrero-marzo 2001 ($H=21.04$, $p<0.0001$).

El máximo crecimiento promedio (2.1 cm/día) se presentó entre marzo y abril para la tercer clase de talla (20-40 cm). En general se observó aumento en longitud entre los primeros meses (febrero-mayo). Posteriormente (mayo-septiembre) predominaron las tasas negativas, para volver a observar incrementos a finales del estudio (inicio de la siguiente temporada).

En junio, sólo crecieron las frondas de la primera clase. En la segunda clase de talla, a pesar de que algunas frondas crecieron, la tasa de crecimiento promedio fue negativa. A partir de la tercera clase de talla, todas las frondas disminuyeron en longitud.

En septiembre, cuando únicamente estuvieron presentes las primeras dos clases de talla se presentó disminución en longitud en ambas (-0.1 cm /día y -0.2 cm/día). Sin embargo, el último dato debe ser tomado con precaución, pues sólo se contó con una fronda debido a que la mortalidad fue muy alta (92%).

En marzo del 2001, la tasa de crecimiento de las dos primeras clases de talla promedió 0.31 cm/día, valor semejante al obtenido al inicio del estudio en marzo del 2000.

Tabla XII. Valores de probabilidad obtenidos para la comparación de la tasa de crecimiento entre las clases de talla para los períodos: febrero-marzo 2000 (Fb-Mr), marzo-abril 2000 (Mr-Ab), mayo-junio 2000 (My-Jn), agosto-septiembre 2000 (Ag-Sp) y febrero-marzo 2001 (Fb2-Mr2). DI= Datos insuficientes, ND= Análisis no disponible. Se resalta en negritas las comparaciones significativas al 95% de confianza.

Período	Análisis	Comparación múltiple						
Fb-Mr		Talla	0-6 cm	6-20 cm				
	<u>Andeva</u> F=0.80 p=0.37	0-6 cm	----	0.37				
		6-20 cm		----				
Mr-Ab		Talla	0-6 cm	6-20 cm	20-40 cm	40-60 cm		
	<u>Andeva</u> F=4.79 P=0.005	0-6 cm	----	0.32	0.03	0.81		
		6-20 cm		----	0.17	0.99		
		20-40 cm			----	0.78		
		40-60 cm				----		
My-Jn		Talla	0-6 cm	6-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	>80 cm
	<u>Kruskal-Wallis</u> X ² =100 P<0.001	0-6 cm	----	DI	DI	DI	DI	DI
		6-20 cm		----	ND	ND	ND	ND
		20-40 cm			----	ND	ND	ND
		40-60 cm				----	ND	ND
		60-80 cm					----	ND
>80 cm						----		
Ag-Sp		Talla	0-6 cm	6-20 cm				
		0-6 cm	----	DI				
		6-20 cm						
Fb-Mr	<u>Andeva</u> F=1.79 P=0.18	Talla	0-6 cm	6-20 cm				
		0-6 cm	----	0.18				
		6-20 cm		----				

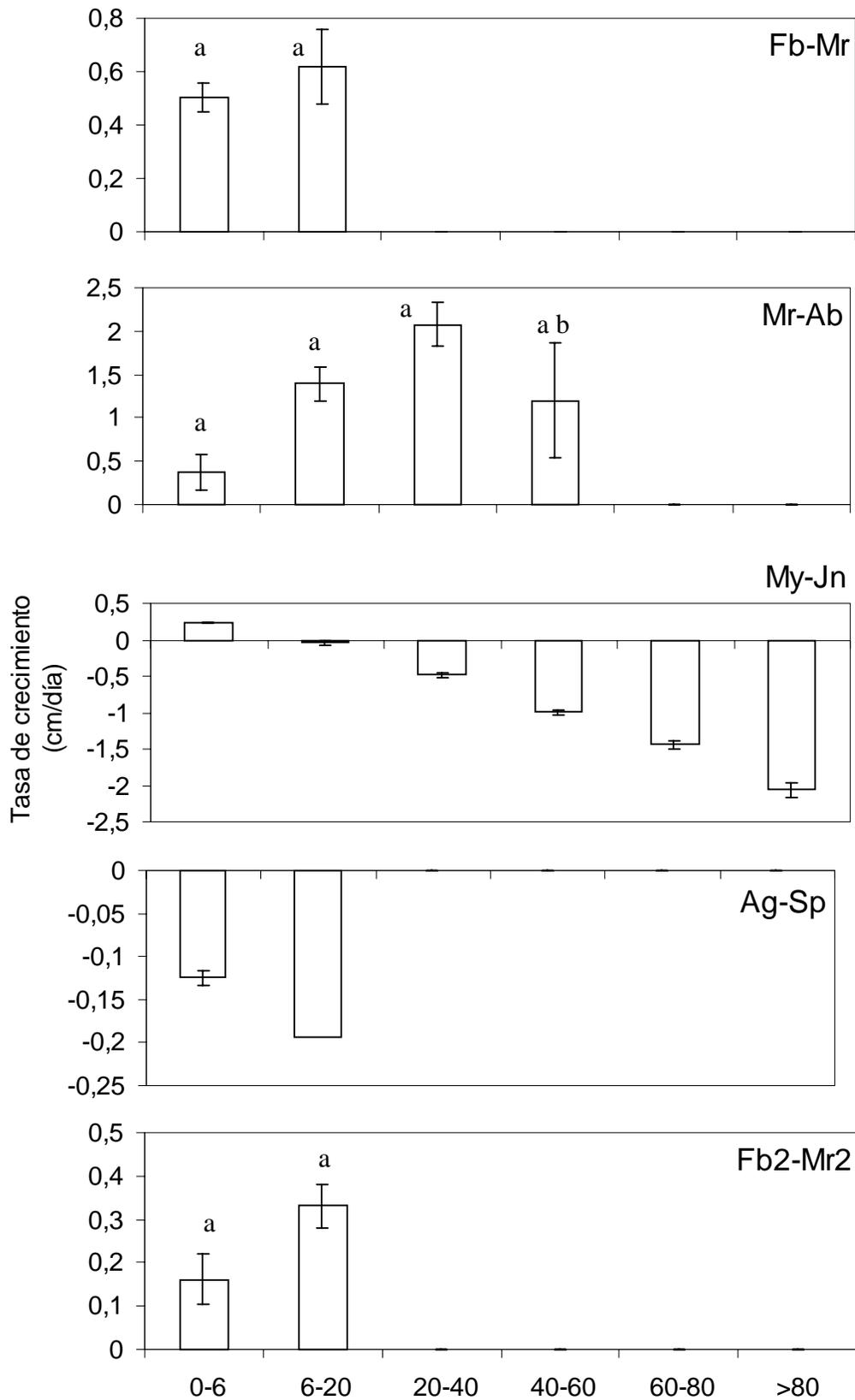


Figura 16. Tasa de crecimiento (cm/día) por clase de talla para los períodos de: febrero-marzo (Fb-Mr, n=62), marzo-abril (Mr-Ab, n=42), mayo-junio (My-Jn, n=135), agosto-septiembre (Ag-Sp, n=8) y febrero del 2001-marzo del 2001 (Fb2-Mr2, n=42). Las letras indican el resultado de la comparación entre clases de talla por período ($\alpha = 0.05$), letras iguales =no diferencia significativa.

8.2.2.3 Tasa relativa de mortalidad

La tasa de mortalidad fue alta a lo largo de todo el estudio, de 24 a 93 % (Fig. 17). En comparación, fué menor en los dos primeros períodos (febrero-marzo 37% y marzo-abril 24%). Entre agosto y septiembre se presentó el máximo (92%), que coincidió con los mínimos de densidad (54 fr/m²) y biomasa (3 gr/m²) en septiembre. Esto marcó el final de la temporada de crecimiento de la población de *Sargassum lapazeanum*.

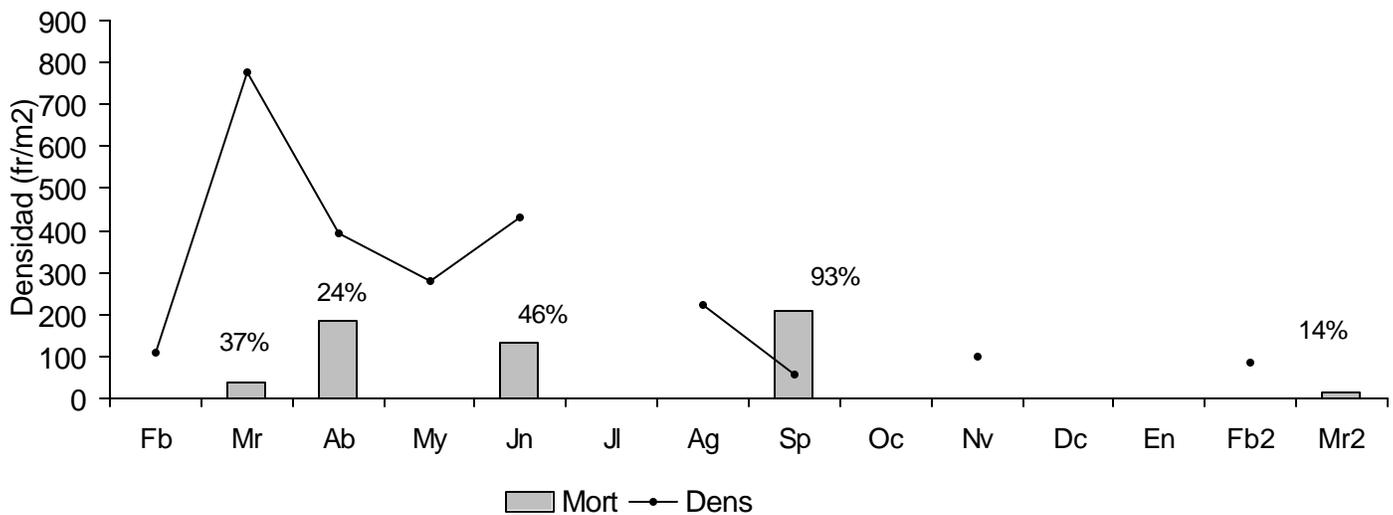


Figura 17. Tasa relativa de mortalidad (%) para los períodos febrero-marzo, marzo-abril, mayo-junio, agosto-septiembre y febrero-marzo del 2001. Las barras indican la cantidad de frondas que murieron (frondas/m²) en el período correspondiente. Las líneas indican la densidad de frondas en el período de estudio.

En todas las clases de talla se presentó mortalidad siendo siempre más marcada en las primeras dos (Fig. 18), pero no significativamente diferente (Tabla XIII). Durante la primavera y principios de verano la tasa de mortalidad fue significativamente menor que en el período agosto-septiembre. La mortalidad fue significativamente más baja en el período febrero-marzo 2001 (14%) que en el mismo período (37%) del año anterior (Tabla XIV).

Tabla XIII. Comparación de la tasa de mortalidad de *Sargassum lapazeanum* entre clases de tallas para los períodos: febrero-marzo 2000 (Fb-Mr), marzo-abril 2000 (Mr-Ab), mayo-junio 2000 (My-Jn), agosto-septiembre 2000 (Ag-Sp) y febrero-marzo 2001 (Fb2-Mr2).

Período	Análisis de Varianza
Fb-Mr	F=0.856, p=0.36
Mr-Ab	F=0.70, p=0.49
My-Jn	F=1.14, p=0.33
Ag-Sp	F=1.03, p=0.31
Fb2-Mr2	F=0.28, p=0.75

Tabla XIV. Valores de probabilidad de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de la tasa de mortalidad de *Sargassum lapazeanum* entre los períodos de estudio. Se resaltan en negritas las comparaciones significativas al 95% de confianza.

Período	Fb-Mr	Mr-Ab	My-Jn	Ag-Sp	Fb2-Mr2
Fb-Mr	----	0.48	0.99	< 0.001	0.03
Mr-Ab		----	0.35	< 0.001	0.72
My-Jn			----	< 0.001	0.02
Ag-Sp				----	< 0.001
Fb2-Mr2					----

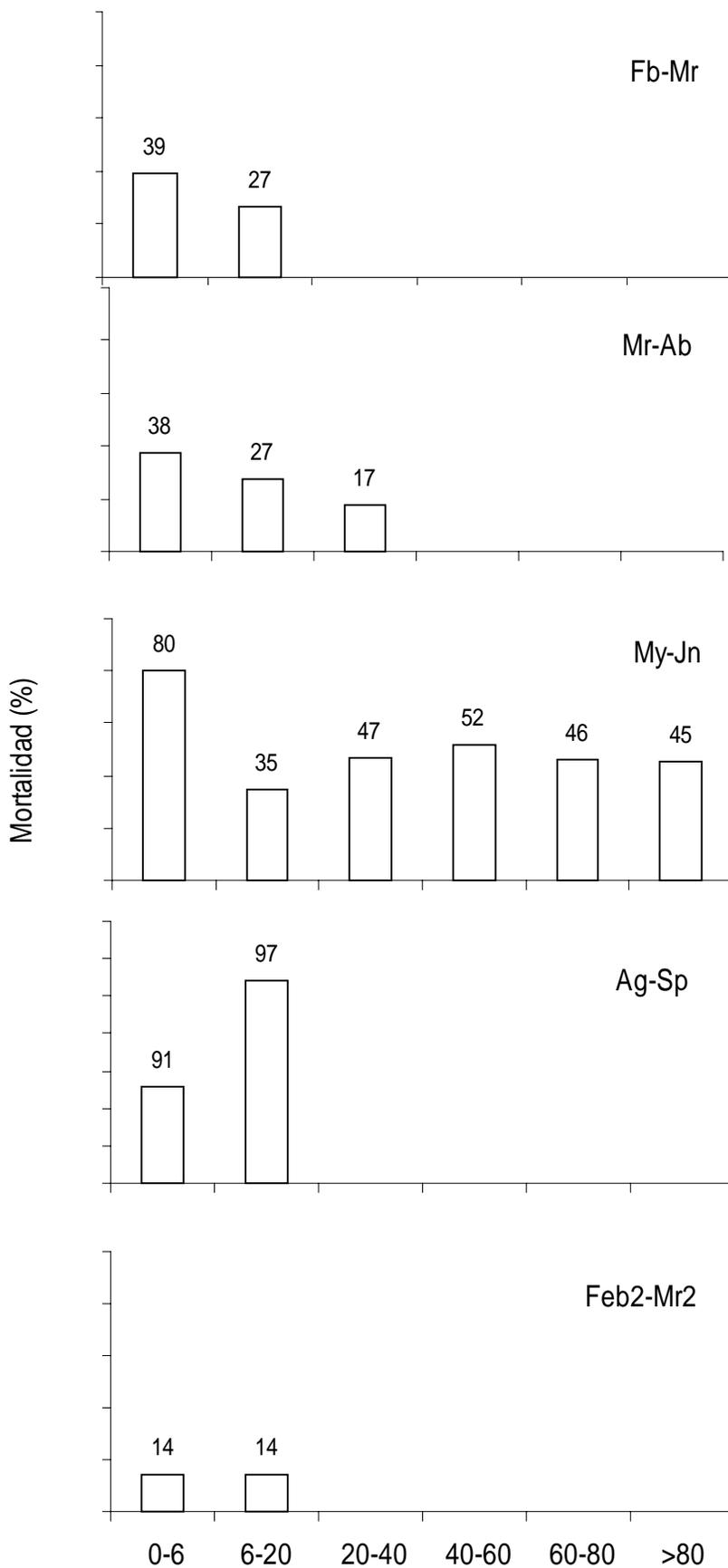


Figura 18. Tasa de mortalidad (%) por clase de talla para los períodos de, febrero-marzo (Fb-Mr, n=99), marzo-abril (Mr-Ab, n=55), mayo-junio (My-Jn, n=252), agosto-septiembre (Ag-Sp, n=110) y febrero del 2001-marzo del 2001 (Fb2-Mr2, n=49).

8.3 VARIABLES AMBIENTALES

8.3.1 Temperatura

La temperatura superficial del mar (TSM) presentó su máximo en septiembre (29.5 °C) y su valor mínimo en marzo (19.5 °C) (Fig. 19). Se presentó un aumento acelerado entre abril y agosto, que se estabilizó en septiembre en el valor máximo, para disminuir aceleradamente a partir de octubre. Existe una diferencia de 10 grados entre el mínimo en primavera y el máximo en otoño.

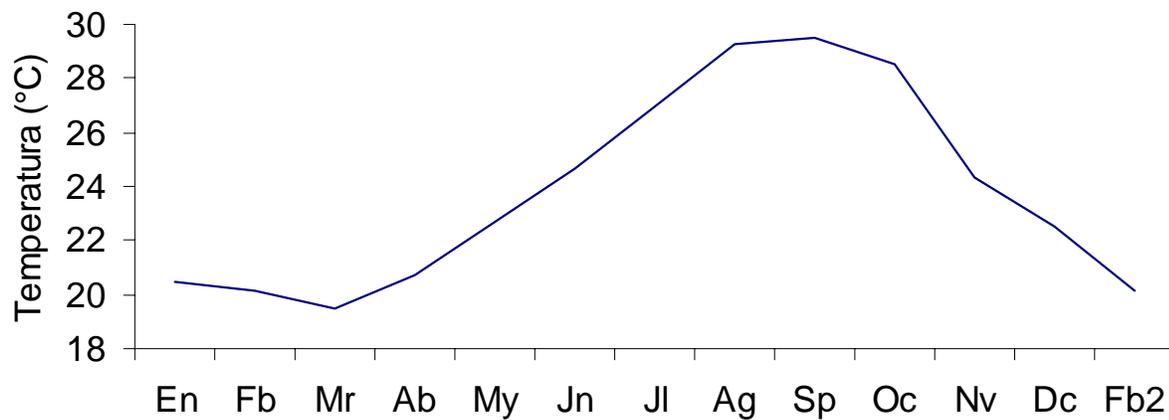


Figura 19. Fluctuación de la temperatura superficial del mar (TSM), para la bahía de La Paz, de febrero del 2000 a febrero del 2001. Tomado de la base de datos de la NOAA.

8.3.2. Nutrientes

La concentración de nitratos en el período de estudio varió de cero en mayo a 2.38 $\mu\text{mol/l}$ en marzo siendo este el valor máximo alcanzado. La concentración de nitratos disminuyó a partir de abril (0.10 $\mu\text{mol/l}$) y se mantuvo baja hasta septiembre (0.06 $\mu\text{mol/l}$). Alcanzó nuevamente valores altos en noviembre (2.21 $\mu\text{mol/l}$), similares a los de primavera (Fig. 20).

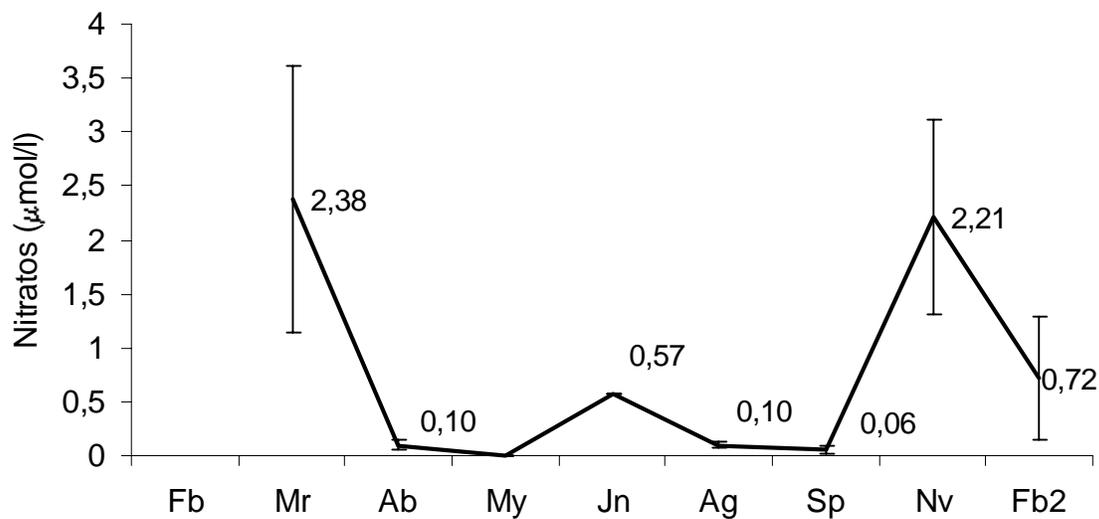


Figura 20. Concentración de nitratos ($\mu\text{mol/l}$) en Piedras Coloradas, San Juan de la Costa de marzo del 2000 a febrero del 2001.

8.3.3. Fotoperíodo

La duración del día aumenta paulatinamente a partir de febrero, hasta alcanzar su valor máximo en junio (13.6 horas luz). A partir de julio disminuye hasta alcanzar su valor mínimo en diciembre (10.6 horas luz) e iniciar el aumento progresivo a partir de enero del año 2001 (Fig. 21).

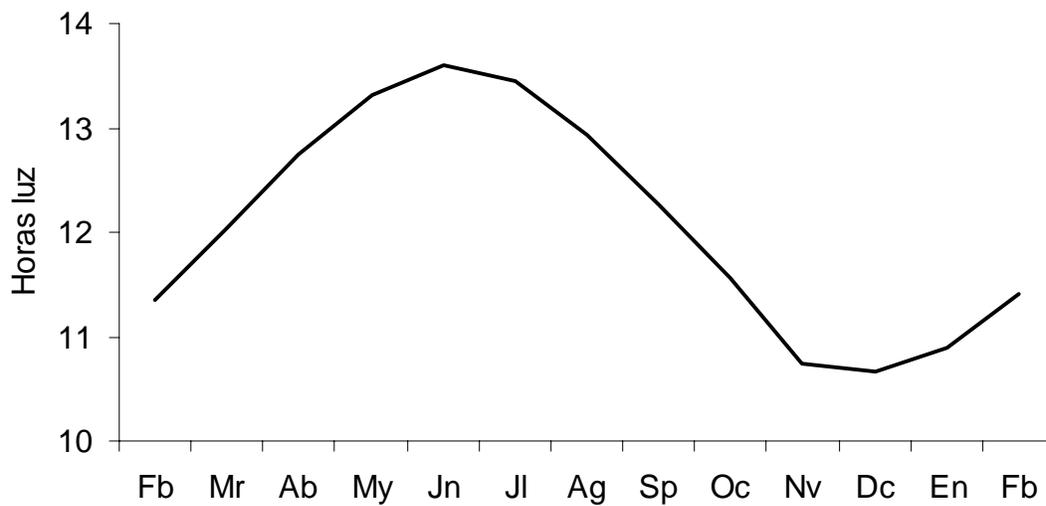


Figura 21. Patrón de duración del día (horas luz) para la bahía de La Paz, B.C.S., México (Tomado del programa Mar V0.51 por CICESE)

9. DISCUSIÓN

9.1 ESTRUCTURA Y DINÁMICA POBLACIONAL

9.1.1 DINÁMICA ANUAL DE LA DENSIDAD Y BIOMASA

Sargassum lapazeanum presentó la máxima densidad y abundancia en primavera. Esta estacionalidad coincide con la observada por McCourt (1984) para tres especies de *Sargassum* (*S. johnstonii*, *S. sinicola* y *S. herporhizum*) en el norte del golfo de California, para *S. sinicola*, *S. herporhizum* y *S. lapazeanum* en bahía Concepción (Núñez-López y Casas-Valdez 1997) y para *S. sinicola* (Espinoza y Rodríguez 1987) y *S. horridum* (Muñetón-Gómez y Hernández-Carmona 1993) en bahía de La Paz. Dada la condición subtropical de la bahía de La Paz, lo encontrado en el estudio presente coincide con las tendencias generales observadas en otras especies de *Sargassum*.

DeWreede (1976) propuso una tendencia en la estacionalidad para el género *Sargassum* en función de la latitud sugiriendo que las algas de ambientes tropicales presentan su máxima abundancia en invierno, mientras que las de ambientes templados la presentan en verano. Posteriormente, McCourt (1984) amplió esta generalización incluyendo algas subtropicales. Dicho autor plantea que estas últimas presentan los máximos de abundancia y desarrollo en primavera o bien en los períodos entre las temperaturas extremas.

En general, las especies de *Sargassum* de ambientes templados como *S. sinclairii* (Schiel 1985), *S. distichum* y *S. podacantum* (Kendrick y Walker 1994), *S. macrocarpum* (Morase y Kito 1998) y *S. muticum* (Wernberg *et al.* 2000) presentan máximos de abundancia en verano. Las especies de ambientes tropicales como *S.*

oligocystum, *S. obtusifolium* y *S. polyphyllum* (DeWreede 1976), *S. carphophyllum*, *S. ilicifolium* y *S. siliquosum* (Hurtado y Ragaza 1999) y *S. mangarevense* (Stiger y Payri 1999) presentan sus máximos de abundancia en la época fría.

Se ha sugerido que la especie subtropical *S. pteropleuron* (Prince y O'Neal 1979) y las especies tropicales *S. siliquosum* y *S. paniculatum* (Ang 1985a) no presentan sus máximos de abundancia en la época fría como sería de esperarse. Los trabajos antes mencionados no analizan la abundancia sino el crecimiento; por lo tanto, no se puede concluir si siguen o no las tendencias del género.

Por otro lado, se observó una tendencia contraria para *S. sinicola* en bahía Magdalena que, siendo una especie subtropical, presenta la máxima biomasa en verano (Sánchez-Rodríguez y Hernández-Carmona 1998, Sánchez-Rodríguez y Cervantes-Duarte 1999). Los autores atribuyen la máxima biomasa en verano a óptimos en disponibilidad de nutrientes y temperatura del agua ocasionado por surgencias en el área.

No existe un estudio enfocado a demostrar por qué las especies de ambientes templados presentan sus máximos en verano y las de ambientes tropicales en invierno. Es probable que esta tendencia se deba a que las temperaturas óptimas de desarrollo se presenten en diferentes estaciones del año en las zonas templadas y tropicales. Mathieson y Dawes (1974), en un estudio de algas rojas en Florida, demostraron que las especies del sur crecieron más en invierno, mientras que en el norte el mayor crecimiento sucedió en verano, a temperaturas similares. Ello sugiere un óptimo de temperatura para el crecimiento de las plantas que en la bahía de La Paz estaría alrededor de 20° C.

La marcada estacionalidad de las especies de *Sargassum* puede ser el resultado de una adaptación a la utilización óptima de las condiciones favorables y los recursos (luz y nutrientes) para el desarrollo cuando estos se presenten.

La temperatura, el fotoperíodo, la disponibilidad de nutrientes (NO_3) y el efecto de las mareas (por ejemplo la hora a la que ocurre la marea más baja) son factores ambientales mayores que afectan a las algas (Lobban y Harrison 1994). Para *S. lapazeanum* solamente el fotoperíodo mostró una relación positiva significativa con respecto a la biomasa. La hora a la que ocurren las mareas bajas mostró una relación negativa al 90% de confianza.

La luz es uno de los factores ambientales más importantes para el desarrollo de las plantas (Lobban y Harrison 1994). En este estudio existió una relación significativa y positiva entre el fotoperíodo y la biomasa. La acumulación de biomasa depende del equilibrio entre la respiración y la producción. Por tanto, entre más tiempo disponible para fotosíntesis tengan los organismos, mayor será la posibilidad de que la producción supere la respiración y se acumule biomasa. Se debe considerar que la acumulación de biomasa depende, además del tiempo disponible para fotosíntesis, de la irradiancia, del estado fisiológico de la planta, de las relaciones intra e interespecíficas y de la disponibilidad de nutrientes, entre otros (Lobban y Harrison 1994).

Los ciclos de mareas afectan de manera importante a las algas que crecen en el intermareal (Lobban y Harrison 1994). En la bahía de La Paz las mareas más bajas ocurren durante la madrugada en primavera y verano. En esta época los días son más largos y la irradiación solar es mayor. Las mareas altas durante el día pueden estar protegiendo a las plantas de las altas irradiancias.

No se evidenciaron correlaciones positivas entre las variables ambientales temperatura y nutrientes y la densidad o biomasa, lo cual no implica que estas variables ambientales no afecten directamente a la población. Cada variable puede afectar diferentes aspectos de la fisiología de los organismos y en este estudio se está midiendo el resultado final (densidad y biomasa promedios de la población) de toda una serie de procesos (reclutamiento, crecimiento y mortalidad) que son afectados en diferente medida por las variables ambientales y además por variables bióticas.

La relación positiva entre la densidad y la biomasa observada durante la época de crecimiento de *S. lapazeanum* (febrero-mayo) es un indicador de que en la población no se presenta el proceso de autorraleo. El autorraleo consiste en una mortalidad denso-dependiente de plantas que están creciendo activamente en condiciones de apiñamiento monoespecífico (Weller 1987).

En algas, la ausencia de autorraleo ha sido reportada para frondas de algas rojas clonales, aunque en muy pocas especies como: *Chondrus crispus* (Chopin *et al.* 1992), *Mazzaella parksii* (como *M. cornucopiae*) (Scrosati y DeWreede 1997), *Gelidium sesquipedale* (Santos 1995), y *Pterocladia capillacea* (Scrosati y Servièrre-Zaragoza 2000). La ausencia de autorraleo en un alga parda no había sido observada con anterioridad, por lo que los resultados de este trabajo constituyen la primera observación a este respecto.

Para *Sargassum muticum* en la costa oeste de España se reportó presencia de autorraleo (Arenas y Fernández 2000). Esta especie es considerada no clonal por los autores, y coincide con el resto de las algas que se consideran no clonales para las que se ha reportado presencia de autorraleo como en *Fucus serratus* y

Laminaria digitata en condiciones de laboratorio (Creed *et al.* 1998), *Himanthalia elongata* (Creed 1995) y *Sargassum* spp (Kendrick 1994).

La naturaleza clonal o individual de *Sargassum lapazeanum* no está determinada. Observaciones personales sugieren que podría ser clonal, pues es frecuente ver varias frondas originándose a partir de un mismo sujetador grande (de varios cm² de superficie); por lo tanto, de un cigoto se podrían estar desarrollando varias frondas. Además, la relación positiva densidad-biomasa también sugiere que esta especie podría ser clonal. Se requiere corroborar la naturaleza (clonal o individual) de *S. lapazeanum* mediante experimentos de campo, laboratorio o con herramientas moleculares.

Las posibles explicaciones a la ausencia de autorraleo son abordadas por Scrosati y Servière-Zaragoza (2000), entre las que se cuentan: 1) una conexión entre ramets que permite el intercambio de nutrientes y sustancias asimiladas fotosintéticamente, 2) que la producción de nuevos ramets sea negativamente denso-dependiente, 3) que la competencia asimétrica entre ramets grandes y pequeños sea moderada por el transporte de recursos del sujetador a los ramets y por último 4) que las frondas pequeñas estén aclimatadas a las condiciones de baja irradiancia generadas por el dosel.

9.1.2 DINÁMICA ANUAL DE LA ESTRUCTURA DE TALLAS

9.1.2.1 Talla media

La longitud de las plantas ha sido usada como indicador de tamaño para muchas especies de algas (DeWreede 1986, Ballesteros *et al.* 1998, Arenas y Fernández 2000, entre otros) y fue identificada por Ang (1991) como un mejor

predicador de variables demográficas que la edad, por lo que su análisis en un trabajo demográfico es importante.

La talla promedio de los individuos de *S. lapazeanum* presentó una marcada estacionalidad, con las mayores tallas en primavera (abril y mayo) y una significativa disminución en verano, otoño e invierno. Las mayores tallas alcanzadas en primavera fueron generadas por los máximos de crecimiento que se presentaron en esta época. Una vez que la población alcanzó las máximas tallas se inició la reproducción y posteriormente la senectud.

Núñez-López y Casas-Valdez (1997) registraron una talla media de 110 cm en primavera para *S. lapazeanum*, en bahía Concepción (el único registro en literatura). Este valor es mayor que la máxima talla media obtenida en este trabajo (mayo = 13.5 cm). En Sonora (Puerto Peñasco), McCourt (1984) reportó las siguientes tallas promedio máximas: 20 cm para *S. johnstonii* (marzo), 10 cm para *S. herporhizum* (marzo) y 20 cm para *S. sinicola* (abril). Estos valores de talla promedio son parecidos a los encontrados en el presente trabajo. Por otro lado, para *S. sinicola* se han reportado tallas medias de 28 a 61 cm en la bahía de La Paz (Espinoza y Rodríguez 1987) y de 28 cm en bahía Magdalena (Sánchez-Rodríguez y Hernández-Carmona 1998, Sánchez-Rodríguez y Cervantes-Duarte 1999). Exceptuando la talla media de 10 cm de *S. herporhizum* (Mccourt 1984), todos los reportes de *Sargassum* presentan tallas mayores que el encontrado en este trabajo. De las especies que se encuentran en la bahía de La Paz *Sargassum lapazeanum* es la que crece mas expuesta a la exposición por efecto de las mareas, lo que podría explicar su menor tamaño.

En la bahía de La Paz, la talla promedio máxima se alcanza después (mayo) que en Puerto Peñasco (marzo y abril). Ello se puede deber a que, en Puerto Peñasco, la temperatura anual promedio es más baja y variable y, durante el verano, la temperatura se eleva antes que en la bahía de La Paz. Considerando que en las especies de *Sargassum* se presenta una adaptación de las tasas vitales (como reclutamiento, crecimiento y mortalidad) para evitar condiciones adversas y aprovechar al máximo condiciones óptimas, lo que se está observando en el desfase de los tiempos de talla máxima es el resultado de esa adaptación. Para determinar la generalidad de esta hipótesis, se requieren estudios simultáneos en varias poblaciones.

Al comparar las tallas promedio de *Sargassum* se debe tomar en cuenta el tamaño de muestra con el que se trabajó, por ejemplo: 50 plantas en Puerto Peñasco (McCourt 1984), de 15 a 40 plantas para *S. sinicola* en la bahía de La Paz (Espinoza y Rodríguez 1987) y de 30 a 50 plantas para *S. sinicola* en bahía Magdalena (Sánchez-Rodríguez y Hernández-Carmona 1998, Sánchez-Rodríguez y Cervantes-Duarte 1999). A pesar de los reducidos tamaños de muestra, tanto la talla promedio como la talla máxima presentan una marcada estacionalidad en todas las especies.

9.1.2.2 Desigualdad de tallas

En diferentes especies vegetales se ha observado mayor abundancia de alguna clase de tallas; esta diferencia es conocida como jerarquía de tamaño. Normalmente existen pocos individuos (o frondas) grandes y numerosos pequeños (Weiner y Solbrig 1984, Begon *et al.* 1996). En concordancia con lo anterior, en

este estudio hubo un marcado predominio numérico de las frondas pequeñas. Un buen indicador de la jerarquía de tamaño es el coeficiente de Gini, pues mide la diferencia en las tallas de los organismos de una población (Weiner 1985, Weiner y Solbrig 1984, Bendel *et al.* 1989).

En la actualidad, el coeficiente de Gini es utilizado en poblaciones de algas para describir la desigualdad de tamaño (Ang y DeWreede 1992, Santos 1995, Creed *et al.* 1996, Arenas y Fernández 2000, Arenas *et al.* 2002). Algunos estudios reportan la desigualdad en longitud (Ang y DeWreede 1992, Creed *et al.* 1996, Arenas y Fernández 2000) y otros en biomasa y longitud (Santos 1995, Arenas *et al.* 2002).

En este trabajo se mostró que las tendencias temporales de desigualdad de tamaño en biomasa y en longitud son similares, aunque la desigualdad en biomasa es más variable y más alta. La mayor variación en la biomasa se relaciona con dos causas. La primera lo está con una mayor magnitud en el error de medición, sobre todo en ejemplares pequeños. Además, existen diferentes aspectos biológicos que la pueden afectar. Entre dichos factores se encuentra la heterogénea presencia de epífitos en la etapa de senectud y una consistencia más rígida de los talos en estado de senectud.

La desigualdad en longitud se mantuvo alta durante la época de crecimiento y disminuyó significativamente conforme se aproximó el decaimiento de otoño. La disminución o mantenimiento de la desigualdad de tamaño, en la época de crecimiento, ha sido descrita como una característica de competencia simétrica en plantas terrestres clonales (de Kroon 1993). La competencia simétrica se presenta

cuando la tasa de crecimiento es independiente o linealmente relacionada al tamaño de los organismos (de Kroon *et al.* 1992, de Kroon 1993, Hara *et al.* 1993).

La disminución en desigualdad en la época de decaimiento se debe a que la población sólo está formada por frondas que han disminuido en tamaño y por nuevos reclutas. Arenas y Fernández (2000) atribuyeron la homogeneización de tallas durante la etapa de decaimiento al autorraleo. El autorraleo es un proceso que se debe evaluar durante la época de crecimiento activo (Weller 1987, Scrosati 1997), de tal manera que una disminución de la desigualdad en la época de decaimiento no debe ser interpretada como característica de autorraleo.

9.2 ESTADIO DE DESARROLLO Y TASAS DEMOGRÁFICAS

9.2.1 ESTADIO DE DESARROLLO

En este estudio se describió el porcentaje de frondas en estado reproductivo por clase de talla. La reproducción se inició en abril, al alcanzarse la talla máxima en la población. Las frondas grandes (> a 30 cm) fueron las primeras en presentar receptáculos. Esto concuerda con la tendencia general de *Fucales*, donde se ha observado una reproducción inicial en las tallas mayores (Chapman 1995). Las frondas se empezaron a romper al tiempo que se inició la reproducción (primer indicativo del decaimiento de la población). En abril, la proporción de frondas reproductivas y la de frondas reproductivas en estado degenerativo fue muy baja (0.5% y 0.1%, respectivamente).

La estrecha relación entre los inicios del decaimiento y de la reproducción fue reportada por DeWreede (1976) para tres especies de *Sargassum* en Hawai y se ha observado en otras especies de *Sargassum*. DeWreede (1976) atribuye el

decaimiento a una disminución en el vigor cuando se inicia la reproducción. Se ha sugerido que, en las algas, la reproducción tiene un costo bajo, dado que las estructuras reproductivas son simples y pueden continuar fotosintetizando (DeWreede y Klinger 1988). Hay pocos trabajos enfocados a demostrar esto, pero para *Fucus gardneri* (como *F. distichus*), la reproducción no tiene un costo en términos de supervivencia, pero sí en tasa de crecimiento (Ang 1992).

La mayor proporción de frondas reproductivas se presentó en mayo, cuando el 27% del total contenían receptáculos. Dado que una gran proporción de la población se ubicó en la primera clase de talla (1085 frondas de 0-6 cm que representan el 51%), excluyendo dicha clase sólo quedan 1026 frondas, de las cuales el 56 % estaban en reproducción.

En general, hay pocos estudios en los que se mida la fecundidad por clase de talla o por clase de edad en algas (Chapman 1986, 1995). Para el género *Sargassum* de la bahía de La Paz, sólo hay cuatro trabajos que abordan el tema de la reproducción, pero ninguno se refiere a *S. lapazeanum* (Espinoza-Avalos y Rodríguez-Garza 1985, Espinoza y Rodríguez 1987, Muñetón-Gómez 1989 y Espinoza 1990).

Los resultados del presente estudio coinciden con los de Muñetón-Gómez (1989) para *S. horridum* en la bahía de La Paz, que reporta mayo y junio como los meses de reproducción. Por su parte, *S. sinicola* se reproduce en la bahía de La Paz tanto en primavera como a fines de verano (Espinoza-Avalos y Rodríguez-Garza 1985, Espinoza y Rodríguez 1987), lo que está relacionado a su más prolongada persistencia en las costas.

En el norte del golfo de California, la reproducción de *S. johnstonii*, *S. herporhizum* y *S. sinicola* var. *camouii* se presentó también en primavera (marzo y abril), con su máximo en abril (McCourt 1984), un mes antes que *S. lapazeanum* en la bahía de La Paz. La diferencia temporal se puede deber a que la temperatura anual promedio del norte es más baja (intervalo anual: 14–30 °C; McCourt 1984) que en la bahía de La Paz (20–30 °C, Fig. 19).

9.2.2 TASAS DEMOGRÁFICAS

9.2.2.1 Tasa de reclutamiento a la primera clase de talla

Se reclutaron frondas de la primera clase de talla en los tres períodos en que se realizó la estimación (febrero-marzo, mayo-junio y agosto-septiembre), lo cual indica que probablemente el reclutamiento se presenta durante todo el año. Para otras especies de *Sargassum* se ha propuesto que, debido a que el tiempo de desarrollo de los nuevos reclutas después de la liberación de los cigotos es corto (DeWreede 1978), los reclutas producidos por las primeras plantas reproductoras no sobreviven (Ang 1985b).

En este trabajo no es posible concluir con respecto al origen (sexual o vegetativo) de los reclutas. Sin embargo, considerando que en *S. lapazeanum* la reproducción ocurrió en un corto período (abril, mayo, junio) y el mayor reclutamiento se registró en febrero-marzo es posible que exista un banco de estructuras microscópicas, que sean responsables de la producción de los nuevos individuos, como ha sido propuesto en Australia para otras especies del género (Kendrick y Walker 1994).

El valor más alto de reclutamiento se presentó entre febrero y marzo y a éste se le atribuye el máximo en densidad observado en marzo. El valor máximo de reclutamiento está asociado a bajas temperaturas y al aumento del fotoperíodo.

Al avanzar la primavera, el reclutamiento fue mucho más bajo hasta alcanzar su valor mínimo para el período de estudio al final del verano. La existencia de reclutamiento a lo largo del año indica que las nuevas frondas se pueden desarrollar en un amplio intervalo de condiciones ambientales tanto en condiciones óptimas como en subóptimas. La relación entre el reclutamiento y las variables poblacionales y abióticas no pudo ser determinada debido a que sólo se contó con tres estimaciones de reclutamiento durante el estudio.

La pérdida de marcas no fue evaluada, de manera que no se determinó si hubo una sobre-estimación de la mortalidad y del reclutamiento ocasionada por dicha pérdida.

9.2.2.2 Tasa de crecimiento

La máxima tasa de crecimiento, alcanzada entre marzo y abril (1.6 cm/día), es de las más altas reportadas para *Sargassum*. En San Juan de la Costa se reportó una tasa de crecimiento de 2 cm/día para *S. horridum* (Muñetón-Gómez y Hernández-Carmona 1993), pero dicho valor fue estimado a partir de la diferencia en la talla promedio entre meses, lo que es potencialmente problemático cuando hay reclutamiento de nuevas frondas. Lo ideal es medir la tasa directamente en frondas marcadas. En Dinamarca, Wernberg *et al.* (2000) midieron una tasa de crecimiento de 1.5 cm/día para *S. muticum*. Estas tres han sido las tasas de crecimiento más altas reportadas para el género.

El máximo crecimiento de *Sargassum lapazeanum* se presentó a principios de primavera, cuando la temperatura fue la más baja. Esto concuerda con lo propuesto por Mathieson y Dawes (1974), al respecto de que las especies de zonas cálidas presentan los máximos crecimientos cuando la temperatura es más baja.

Sargassum lapazeanum presenta su desarrollo macroscópico en un período corto (marzo, abril y mayo), lo cual se podría interpretar como una adaptación para aprovechar al máximo las condiciones favorables que se presentan en esta época: temperaturas relativamente bajas ($< 23^{\circ}\text{C}$), fotoperíodo en aumento y mareas bajas en la madrugada.

Respecto al crecimiento por clase de talla, no se evidenciaron diferencias entre los dos primeros grupos, lo que probablemente se deba a que ambas clases de talla se encuentran en la fase de crecimiento acelerada (en donde se comportarían linealmente).

A partir de la cuarta clase de talla, la tasa de crecimiento disminuye y en las dos últimas no se detectó incremento en longitud. Sin embargo, es posible que el crecimiento exista y haya sido enmascarado por la ruptura de las frondas, lo cual es más frecuente en los individuos más grandes.

9.2.2.3 Tasa relativa de mortalidad

La tasa de mortalidad para *Sargassum* ha sido pobremente investigada. Sólo se cuenta con la información generada por Ang (1987) en Filipinas.

A principios de la época de crecimiento (primavera) se presentaron las menores mortalidades, mientras que las más altas se alcanzaron hacia el otoño.

Las bajas tasas de mortalidad coincidieron con altas tasas de reclutamiento y viceversa. Esta alternancia del reclutamiento y la mortalidad se puede considerar como una adaptación para aprovechar las condiciones favorables.

Se encontró que entre las diferentes clases de talla la mortalidad fue homogénea para cada mes. Esto es una evidencia de competencia simétrica, en la que, a pesar de las altas densidades de las clases de talla menores, la mortalidad es semejante dentro de un mismo período.

La mayor mortalidad a finales del período de estudio (agosto-septiembre) estuvo asociada a las más altas temperaturas, baja concentración de nutrientes y disminución de las horas luz; además, en esta época finaliza el período reproductivo. La elevada mortalidad marca el final del ciclo de desarrollo de *Sargassum lapazeanum*.

El pico de reclutamiento observado entre febrero y marzo generó la máxima densidad que se registró en marzo. Posteriormente, debido a la disminución del reclutamiento y al aumento de la mortalidad, la densidad fue disminuyendo. El aumento de la biomasa entre febrero y mayo estuvo dado por las elevadas tasas de crecimiento que se presentaron en ese período.

Posteriormente se observó una disminución sustancial, tanto en biomasa como en densidad, dada por la disminución e incluso cese del crecimiento y por las altas tasas de mortalidad. Al final del período de estudio fue posible observar el inicio de una nueva generación, con una tasa de reclutamiento moderada en agosto-septiembre y tasas de crecimiento en febrero-marzo/2001 similares a las del inicio del trabajo.

10. CONCLUSIONES

- La biomasa y densidad de *Sargassum lapazeanum* en Piedras Coloradas durante 2000 e inicios del 2001 presentaron un marcado patrón estacional. Los máximos se presentaron en primavera y los mínimos en otoño.
- La estructura de tallas en la población mostró una marcada estacionalidad, presentándose todas las clases de talla sólo durante primavera. Durante el verano dominaron las dos primeras clases de talla. Por último en otoño e invierno solamente se presentó la primera clase de talla.
- La relación entre la biomasa y la densidad de frondas de *Sargassum lapazeanum* durante la época de crecimiento (febrero-mayo) presentó una pendiente positiva. Por lo anterior, se sugiere que en *S. lapazeanum* no se presenta autorraleo. Este es el primer reporte de ausencia de autorraleo para un alga parda.
- Las mayores biomásas se presentaron cuando la duración del día fue en aumento y cuando las mareas bajas se presentaron en la madrugada.
- Se evidenció una alta jerarquía de tamaño. La desigualdad en las tallas fue mayor durante la época de crecimiento (febrero-mayo). Además, en esta época, la desigualdad en tamaño se mantuvo homogénea, lo que sugiere nuevamente la ausencia de autorraleo.

estacional y ocurrió básicamente en primavera, con un máximo en mayo y escasas plantas reproductivas en junio y agosto.

- El reclutamiento a la primera clase de talla fue continuo durante el período de estudio, con su máximo en febrero-marzo. A ese máximo se le atribuye la alta densidad observada en marzo. A finales de verano se presentó el menor reclutamiento.
- *Sargassum lapazeanum* creció activamente de febrero a mayo, con una tasa de crecimiento máxima entre marzo y abril, lo que conlleva a que se alcance la talla máxima en abril y posteriormente la biomasa máxima en mayo.
- Se presentó mortalidad durante todo el período de estudio con el valor máximo en agosto-septiembre. La alta mortalidad de otoño (> 90%) ocasionó las bajas densidades y biomásas encontradas en ese período.
- La tasa de mortalidad mensual por clase de talla fue homogénea, lo cual es una evidencia más de ausencia de autorraleo.

- La reproducción se inició una vez que se alcanzó la talla máxima, en abril. Al mismo tiempo se inició la ruptura de las frondas. La reproducción fue estacional y ocurrió básicamente en primavera, con un máximo en mayo y escasas plantas reproductivas en junio y agosto.
- El reclutamiento a la primera clase de talla fue continuo durante el período de estudio, con su máximo en febrero-marzo. A ese máximo se le atribuye la alta densidad observada en marzo. A finales de verano se presentó el menor reclutamiento.
- *Sargassum lapazeanum* creció activamente de febrero a mayo, con una tasa de crecimiento máxima entre marzo y abril, lo que conlleva a que se alcance la talla máxima en abril y posteriormente la biomasa máxima en mayo.
- Se presentó mortalidad durante todo el período de estudio con el valor máximo en agosto-septiembre. La alta mortalidad de otoño (> 90%) ocasionó las bajas densidades y biomásas encontradas en ese período.
- La tasa de mortalidad mensual por clase de talla fue homogénea, lo cual es una evidencia más de ausencia de autorraleo.

11. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS PARA TRABAJO FUTURO

- Determinar la biomasa reproductiva a lo largo del tiempo, como un indicador del esfuerzo reproductivo.
- Determinar la fertilidad por medio de conteos de gametos liberados y de cigotos producidos.
- Determinar el tiempo que tardan en crecer los nuevos reclutas, desde la liberación de los cigotos hasta que son detectables en la población (> 1 cm).
- Realizar un marcaje extensivo de frondas pequeñas, para describir el crecimiento promedio de las mismas.
- Utilizar cuadrados permanentes para estimar qué proporción de la población se regenera a partir de sujetadores remanentes.
- Probar experimentalmente si la mortalidad es denso-dependiente.
- La naturaleza clonal o individual de *Sargassum lapazeanum* es incierta; por lo tanto se recomienda probarla mediante experimentos de campo, de laboratorio o análisis genético.
- Dar un seguimiento continuo de temperatura, luz, nutrientes y fuerza del oleaje *in situ*, para determinar con mayor precisión su relación con las variables poblacionales

12. BIBLIOGRAFIA

- Abbot I. y N. Norris. 1985. Taxonomy of economic seaweeds with reference to some Pacific and Caribbean species. *California Sea Grant College Program*, La Jolla, California. 167 p.
- Dberg P. 1992a. A demographic study of two populations of the seaweed *Ascophyllum nodosum*. *Ecology*. 73(4): 1473-1487.
- Dberg P. 1992b. Size-bases demography of the seaweed *Ascophyllum nodosum* in stochastic environments. *Ecology*. 73(4): 1488-1501.
- Alvarez-Arellano A. D.y J. M. Murillo-Jiménez 1989. Cuerpos de agua inferidos a partir del registro micropaleontológico (Radiolaria), en sedimentos superficiales del fondo marino de la bahía de La Paz, B.C.S., México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México 16(1): 135-146.
- Ang P.O. 1985a. Phenology of *Sargassum siliquosum* J. Ag. and *S. paniculatum* J. Ag. (Sargassaceae, Phaeophyta) in the reef flat of Balibago. *Proceedings of the fifth International Coral Reef Congress*, Tahiti. Vol 5: 51-57.
- Ang P.O. 1985b. Studies on the recruitment of *Sargassum* spp. (Fucales:Phaeophyta) in Balibago, Calatagan, Philippines. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 91: 293-301.
- Ang P.O. 1987. Use of projection matrix models in the assessment of harvesting strategies for *Sargassum*. *Hydrobiologia*. 151/152: 335-339
- Ang P.O. 1991. Age and size dependent growth and mortality in a population of *Fucus distichus*. *Marine Ecology Progress Series*. 78: 173-187.

- Ang P.O. 1992. Cost of reproduction in *Fucus distichus*. *Marine Ecology Progress Series*. 89: 25-35.
- Ang P.O. y R.E. DeWreede. 1990. Matrix models for algal life history stages. *Marine Ecology Progress Series*. 59: 171-181.
- Ang P.O. y R.E. DeWreede. 1992. Density-dependence in a population of *Fucus distichus*. *Marine Ecology Progress Series*. 90: 169-181.
- Ang P.O. y R.E. DeWreede 1993. Simulation and analysis of the dynamics of a *Fucus distichus* (Phaeophyceae, Fucales) population. *Marine Ecology Progress Series*. 93: 253-265.
- Arenas F. y C. Fernández. 1998. Ecology of *Sargassum muticum* (Phaeophyta) on the North Coast of Spain III. Reproductive ecology. *Botanica Marina*. 41: 209-216.
- Arenas F. y C. Fernández 2000. Size structure and dynamics in a population of *Sargassum muticum* (Phaeophyceae). *Journal of Phycology*. 36 (6): 1012-1020.
- Arenas F., R.M. Viejo y C. Fernández 2002. Density-dependent regulation in an invasive seaweed: responses at plant and modular levels. *Journal of Ecology*. 90: 820-829.
- Ballesteros E., E. Sala, J. Garrabau y M. Zabala. 1998. Community structure and frond size distribution of a deep water stand of *Cystoseira spinosa* (Phaeophyta) in the Northwestern Mediterranean. *European Journal of Phycology*. 33: 121-128.

- Begon M., M. Mortimer y D.J. Thompson 1996. *Population Ecology. A unified study of animals and plants*. Blackwell Science. London. 247p
- Bendel R.B., S.S. Higgins, J.E. Teberg y D.A. Pike. 1989. Comparison of skewness coefficient, coefficient of variation, and Gini coefficient as inequality measures within populations. *Oecologia*. 78: 394-400.
- Chapman A.R.O. 1985. Demography. In: Littler M.M.y D.S. Littler (eds) *Handbook of Phycological Methods, Ecological Field Methods: Macroalgae*. Cambridge University Press. Cambridge. 251-268.
- Chapman A.R.O. 1986. Population and community ecology of seaweeds. In: Baxter, J.H.S y A.J. Southward (eds) *Advances in Marine Biology* 23. Academic Press. London. 385 p.
- Chapman A.R.O. 1995. Functional ecology of fucoid algae: twenty-three years of progress. *Phycologia*. 34(1): 1-32.
- Chopin T., J.D. Pringle y R.E. Semple. 1992. Impact of harvesting on frond density and biomass of Irish moss (*Chondrus crispus* Stackhouse) beds in the southern Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 49: 349-57.
- Creed J.C. 1995. Spatial dynamics of a *Himantalia elongata* (Fucales, Phaeophyta) population. *Journal of Phycology*. 31: 851-859.
- Creed J.C., T.A. Norton y S.P. Harding 1996. The development of size structure in a young *Fucus serratus* population. *European Journal of Phycology*. 31: 203-209.

- Creed J.C., J.M. Kain y T.A. Norton 1998. An experimental evaluation of density and plant size in two large brown seaweeds. *Journal of Phycology*. 34:39-52
- Cruz-Ayala M.B. 1996. Variación espacio-temporal de la ficoflora y su abundancia relativa en la bahía de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN, México. 100p
- Cruz-Ayala M.B., M.M. Casas-Valdez y S. Ortega-García. 1998. Temporal and spatial variations of frondose benthic seaweeds in La Paz Bay, B.C.S., México. *Botanica Marina*. 41: 191-198.
- Dawson E.Y. 1944. The marine algae of the Gulf of California. *Allan Hancock Pacific Expedition*. University of California. 3(10): 189-464.
- de Kroon H. 1993. Competition between shoots in stands of clonal plants. *Plant Species Biology*. 8: 85-94.
- de Kroon H., T. Hara y R. Kwant 1992. Size hierarchies of shoots and clons in clonal herbs monocultures: do clonal and non-clonal plants compete differently?. *Oikos*. 63: 410-419.
- DeWreede R.E. 1976. The phenology of three species of *Sargassum* (Sargassaceae, Phaeophyta) in Hawaii. *Phycologia*. 15(2): 175-183.
- DeWreede R.E. 1978. Growth in varying culture conditions of embryos of three Hawaiian species of *Sargassum* (Phaeophyta, Sargassaceae). *Phycologia*. 17(1): 23-31.
- DeWreede R.E. 1986. Demographic characteristics of *Pterygophora californica* (Laminariales, Phaeophyta). *Phycologia*. 25: 11-17

- DeWreede R.E. y T. Klinger 1988. Reproductive strategies in Algae. *In*: Lovett Doust J.L. y L.L. Lovett Doust. (eds). *Plant Reproductive Ecology. Patterns and strategies*. Oxford Univ. Press. New York. 267-284.
- Espinoza J. 1990. Estructura por edades y reproducción de tres poblaciones de *Sargassum sinicola* (Phaeophyta, Fucales) en la bahía de La Paz, golfo de California. *Acta Botanica Mexicana*. 11: 1-9.
- Espinoza-Avalos J. y H. Rodríguez-Garza 1985. Observaciones preliminares de *Sargassum sinicola* Setchell y Gardner (Phaeophyta) en la bahía de La Paz, golfo de California. *Ciencias Marinas*. 11(3): 115-120.
- Espinoza J. y H. Rodríguez 1987. Seasonal phenology and reciprocal transplantation of *Sargassum sinicola* Setchell et Gardner in the southern Gulf of California. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 110(3): 183-195.
- Espinoza J. y H. Rodríguez 1989. Crecimiento de *Sargassum sinicola* Setchell et Gardner (Phaeophyta) en la parte sur del golfo de California, México. *Ciencias Marinas*. 15(4): 141-149.
- Fajardo-Leon M.C. 1994. Evaluación de la biomasa y determinación de especies de los mantos del genero *Sargassum* spp Agardh, 1821 (Fucales; Phaeophyta) en la bahía de La Paz, B.C.S., México, en primavera de 1988. Tesis de Maestría CICIMAR-IPN, México 78p,
- Flores-Moya A., J.A. Fernández y F.X. Niell. 1996. Growth pattern, reproduction, and self-thinning in seaweeds. *Journal of Phycology*. 32: 767-769.
- Graham L.E. y L.W. Wilcox 2000. Algae. *Prentice Hall*. U.S.A. 640 pp.

- Hara T., J. van der Toorn y J.H. Mook 1993. Growth dynamics and size structure of shoots of *Phragmites australis* a clonal plant. *Journal of Ecology*. 81: 47-60.
- Hernández-Carmona G., M.M. Casas-Valdez, C. Fajardo-León, I. Sánchez-Rodríguez y E. Rodríguez-Montesinos. 1990. Evaluación de *Sargassum* spp. en la bahía de La Paz, B.C.S. México. *Investigaciones Marinas CICIMAR*. 5(1): 11-18.
- Holguín-Quiñonez O. 1971. Estudio florístico estacional de las algas marinas del sur de la bahía de La Paz, B.C. México. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas I.P.N. 113p
- Huerta-Muzquiz L. y C. Mendoza-González 1985. Algas marinas de la parte sur de la bahía de La Paz, B.C.S. *Phytologia* 59(1): 35-57.
- Hurtado A.Q. y A.R. Ragaza. 1999. *Sargassum* studies in Currimao, Ilocos, Norte, Northern Philipines. I. Seasonal variation in the biomass of *Sargassum carpophyllum* J. Agardh, *Sargassum ilicifolium* (Turner) C. Agardh and *Sargassum siliquosum* J. Agardh (Phaeophyta, Sargassaceae). *Botanica Marina* 42(4): 321-325.
- Jiménez-Illescas A.R., M. Obeso-Niebas y D.A. Salas-de León. 1997 Oceanografía física de la bahía de La Paz, B.C.S. In: Urbán R.J. y M.R. Ramírez (eds). *La bahía de La Paz, investigación y conservación*. UABCS-CICIMAR-SCRIPPS: 31-41.
- Kendrick G.A. 1993. *Sargassum* beds at Rottnest Island: species composition and abundance. Fifth International Marine Biological Workshop: The Marine Flora and Fauna of Rottnest Island, Western Australia., Australia. *Western Australian Museum*. 2(2): 455-471.

- Kendrick G. A. 1994. Effects of propagule settlement density and adult canopy on survival of recruits of *Sargassum* spp. (Sargassaceae: Phaeophyta). *Marine Ecology Progress Series*. 103:129-140
- Kendrick G.A. y D.I. Walker. 1994. Role of recruitment in structuring beds of *Sargassum* spp (Phaeophyta) at Rottneest Island, Western Australia *Journal of Phycology*. 30: 200-208.
- Kokko H., A. Mackenzie, J.D. Reynolds, J. Lindström y W.J. Sutherland. 1999. Measures of inequality are not equal. *The American Naturalist*. 72(5): 358-382.
- Krebs C.J. 1985. *Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia*. Oxford University Press. 753p.
- Lee R.E. 1999. *Phycology* 3rd Ed. Cambridge University Press. Cambridge. 350p.
- Lobban C.S. y P.J. Harrison. 1994 *Seaweed ecology and Physiology*. Cambridge University Press. 366 p.
- Martínez E. y B. Santelices 1992. Size hierarchy and the $-3/2$ "power law" relationship in a coalescent seaweed. *Journal of Phycology*. 28: 259-264
- Mathieson A.C. y C.J. Dawes 1974. Ecological studies of floridean *Euchema* (Rhodophyta, Gigartinales). II. Photosynthesis and respiration. *Bulletin of Marine Sciences*. 24: 274-285.
- McCourt R.M. 1984. Seasonal patterns of abundance, distributions, and phenology in relation to growth strategies of three *Sargassum* species. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 74: 141-156.

- Moloney K.A. 1986. A generalized algorithm for determining category size. *Oecologia*. 69: 176-180.
- Morase N. y H. Kito. 1998. Growth and maturation of *Sargassum macrocarpum* C.Agardh in Fukawa Bay, the sea of Japan. *Fisheries Science*. 64: 393-396
- Muñetón-Gómez M.S. 1989. Morfología y época de reproducción de *Sargassum horridum* (Setchell y Gardner) en la bahía de La Paz, B.C.S. México. *Investigaciones Marinas CICIMAR*. 4: 257-266.
- Muñetón-Gómez M.S. y G. Hernández-Carmona 1993. Crecimiento estacional de *Sargassum horridum* (Setchell y Gardner) Phaeophyta, en la bahía de La Paz, B.C.S., México. *Investigaciones Marinas CICIMAR*. 8(1): 23-31.
- Núñez-López R.A. y M.M. Casas-Valdez 1997. Variación estacional de la biomasa y talla de *Sargassum* spp. (Sargassaceae, Phaeophyta) en bahía Concepción, B.C.S., México. *Hidrobiológica*. (7): 19-25.
- Pacheco-Ruíz I., J.A. Zertuche-González, A. Chee-Barragán, y R. Blanco-Betancourt.. 1998. Distribution and quantification of *Sargassum* beds along the West Coast of the Gulf of California, México. *Botanica Marina*. 41: 203-208.
- Phillips N. 1995. Biogeography of *Sargassum* (Phaeophyta) in the pacific basin. In: I.A. Abbott (Ed). *Taxonomy of Economic Seaweed: with reference to some Pacific species*. I. V: 107-144.
- Prince J. S. y S.W. O'Neal 1979. The Ecology of *Sargassum pteropleuron* Grunow (Phaeophyceae, Fucales) in the waters off South Florida I. Growth, reproduction and population structure. *Phycologia*. 18(2): 109-114.

- Reyes-Salinas A. 1999. Factores que controlan la productividad primaria en la bahía de La Paz, B.C.S. *Tesis de Maestría*. CICIMAR-IPN. 122P
- Riosmena-Rodríguez R., D. Siqueiros-Beltrones, O. García-de La Rosa y V. Rocha-Ramírez. 1991. The extension geographic range of selected seaweeds on the baja California Peninsula. *Revista de Investigaciones Científicas U.A.B.C.S.* 2(2):13-20.
- Rocha-Ramírez V. y D. Siqueiros-Beltrones 1990. Revisión de las especies del genero *Sargassum* C. Agardh registradas para la bahía de La Paz, B.C.S. México. *Ciencias Marinas*. 16(3): 15-26.
- Sánchez-Rodríguez I. y G. Hernández-Carmona 1998. Factores biológicos que afectan el crecimiento del alga café *Sargassum sinicola* (Fucales, Phaeophyta) en bahía Magdalena, B.C.S., México. IV Congreso Latinoamericano de Ficología.
- Sánchez-Rodríguez I. y R. Cervantes-Duarte 1999. Longitud y biomasa de *Sargassum sinicola* Setchell et Gardner (Phaeophyta) en bahía Magdalena, B.C.S., México. *Hidrobiológica*. 9(2): 117-124.
- Santos R. 1995. Size structure and inequality in a commercial stand of the seaweed *Gelidium sesquipedale*. *Marine Ecology Progress Series*. 119: 253-263.
- Schiel D.R. 1985. Growth, survival and reproduction of two species of marine algae at different densities in natural stands. *Journal of Ecology*. 73: 199-217.
- Schiel D.R. y J.H. Choat 1980. Effects of density on monospecific stands of marine algae. *Nature*. 285: 324-326.

- Scrosati R. 1997. On the analysis of self-thinning among seaweeds. *Journal of Phycology*. 33: 1077-1079.
- Scrosati R. 2001. Population dynamics of *Caulerpa sertularioides* (Chlorophyta: Bryopsidales) from Baja California, México, during El Niño and La Niña years. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 81:721-726.
- Scrosati R. 2002. An updated definition of genet applicable to clonal seaweeds, bryophytes, and vascular plants. *Basic and Applied Ecology*. 3: 97-99.
- Scrosati R. y R.E. DeWreede 1997. Dynamics of the biomass-density relationship and frond biomass inequality for *Mazzaella cornucopiae* (Gigartinaceae, Rhodophyta): implications for the understanding of frond interactions. *Phycologia*. 36(6): 506-516.
- Scrosati R. y E. Servièrre-Zaragoza 2000. Ramet dynamics for the clonal seaweed *Petrocladiella capillacea* (Rhodophyta): a comparison with *Chondrus crispus* and with *Mazaella cornucopiae* (Gigartinales). *Journal of Phycology*. 36: 1061-1068.
- Setchell W.A. y N.L. Gardner 1924. New marine algae from the Gulf of California. expedition of the California Academy of Sciences of the Gulf of California in 1921. The marine algae. Proc. Calif. Acad. Sci. (Ser IV) 12(29): 695-949.
- Sokal R.R. y J.F. Rohlf 1995. *Biometry*. 3ra Ed. W. H. Freeman and Company. U.S.A. 859 p
- Stiger V. y C.E. Payri 1999. Spatial and temporal patterns of settlement of the brown macroalgae *Turbinaria ornata* and *Sargassum mangarevense* in a coral reef on Tahiti. *Marine Ecology Progress Series*. 191: 91-100.

- Strickland J.D. y R. Parsons 1972 *Practical handbook of sea-water analysis*. 2ª. Ed. Bull. 167. Fisheries research board Canadá, Ottawa. 311 p.
- van den Hoek C., D.G. Mann y H.M. Jans 1995. *Algae. An introduction to phycology*. Cambridge University Press. Cambridge. 622 p.
- Vandermeer J. 1978. Choosing category size in a stage projection matrix. *Oecologia*. 32: 79-84.
- Weiner J. 1985. Size hierarchies in experimental populations of annual plants. *Ecology*. 66(3): 743-752.
- Weiner J. y O.T. Solbrig 1984. The meaning and measurement of size hierarchies in plant populations. *Oecologia*. 61: 334-336.
- Weller D.E. 1987. A reevaluation of the $-3/2$ power rule of plant self-thinning. *Ecological Monographs*. 57(1): 23-43.
- Wernberg T., M.S. Thomsen, P.A. Staehr y M.F. Pedersen 2000. Comparative phenology of *Sargassum muticum* and *Halidrys siliquosa* (Phaeophyceae:Fucales) in Limfjorden, Denmark. *Botanica Marina*. 43: 31-39.
- Zar J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. U.S.A. 663p.

APÉNDICE I. Programa para MatLab para calcular el algoritmo propuesto por Vandermeer (1977).

```
%24.05.2001
arch=input('¿Archivo de entrada? ','s');
mat=load(arch);
X1=mat(:,1);
X2=mat(:,2);

clear mat; clear arch;
I=X2-X1; % tasa de crecimiento
l1=[X1(1) X1(end)]
l2=[X2(1) X2(end)]

display('ingresa el valor del intervalo');
Mmin=input('Mmin = ');
Mmax=input('Mmax = ');
fname=input('¿Nombre de la figura? ','s');
tMmin=num2str(Mmin);
tMmax=num2str(Mmax);
titulo=strcat(fname,'/',tMmin,'-',tMmax);
vmin=Mmin;
vmax=Mmax;
k=0;

while(Mmin<Mmax),
    k=k+1;

%Np=Indices de los individuos del 1er censo que están en el
intervalo
Np=find((X1<=Mmax)&(X1>=Mmin));
X1p=X1(Np);

%N1=cuantos son
N1(k)=length(Np);

%X2p=Individuos del segundo censo que estuvieron en el intervalo
durante el 1er censo
X2p=X2(Np);

%M1=cuantos de esos siguen en el intervalo
M1=length(find((X2p<=Mmax)&(X2p>=Mmin)));
% Prob. de permanecer en el intervalo en siguiente censo
P(k)=M1/N1(k);

% mitad de registros que caen dentro del intervalo de X1
c1=floor(N1(k)/2);

%Arregla indice de crecimiento en orden ascendente
Ip=I(Np);
```

```

[Ip_sort ind]=sort(Ip);
X2p_sort=X2p(ind);
clear Ip_sort; clear ind;
subX2=X2p_sort(1:c1);
M2=length(find((subX2<=Mmax)&(subX2>=Mmin)));
clear subX2;
Ps1(k)=2*M2/N1(k);

% Escoge segunda mitad
subX2=X2p_sort((length(X2p)-c1+1):length(X2p));
M3=length(find((subX2<=Mmax)&(subX2>=Mmin)));
clear subX2;
Ps2(k)=2*M3/N1(k);

%Error de muestreo:
SE(k)=(Ps1(k)-P(k))^2+(Ps2(k)-P(k))^2;
t1=Mmin+I;
M4=length(find((t1<=Mmax)&(t1>=Mmin)));
t2=Mmax+I;
M5=length(find((t2<=Mmax)&(t2>=Mmin)));
Pd1(k)=M4/N1(k);
Pd2(k)=M5/N1(k);

%Error de distribución:
DE(k)=(Pd1(k)-P(k))^2+(Pd2(k)-P(k))^2;
t_int(k)=Mmax-Mmin;
Mmax=Mmax-0.1;
clear X1p; clear X2p; clear c1;
clear M2; clear Np; clear M1;
clear M3; clear t1; clear t2;
clear M4; clear M5;
clear X2p_sort
end
clear k;
figure('color','w')
escala=(vmax:-0.1:vmin);
%plot(escala(1:length(DE)),DE,'r',escala(1:length(SE)),SE,'g');
xde=escala(1:length(DE));
xse=escala(1:length(SE));
suma=SE++DE;

%GRAFICA DE SUMA DE ERRORES
plot(xde,suma);
xlabel('Intervalo');
ylabel('Suma de Errores');
title(titulo)
eval(['print -djpeg ' fname '.jpg']);

```

APÉNDICE II. Programa para MatLab para calcular el coeficiente de Gini según la fórmula propuesta por Sen (1973) en Weiner y Solbrig (1984).

```
datos=input('Archivo de datos:')
x=wklread(datos);
n=length (x);
suma=0;
m=mean(x);
for i=1:n
    for j=1:n
        suma=suma+abs(x(i)-x(j));
    end
end
G=suma./(2*n^2.*m)
```