



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA
ELEMENTAL DE *Sargassum horridum* Y SU
RELACIÓN CON LA COMUNIDAD ASOCIADA,
EN EL SAUZOSO, BAHÍA DE LA PAZ, B.C.S.,
MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

EDWIN FARFÁN LÓPEZ

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2017



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 11 del mes de Diciembre del 2017 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 titulada:

**"VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL
DE *Sargassum horridum* Y SU RELACIÓN CON LA COMUNIDAD ASOCIADA"**

Presentada por el alumno:

FARFÁN Apellido paterno	LÓPEZ materno	EDWIN nombre(s)
Con registro:		
B	1	5
0	1	5
2		

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. GUSTAVO HERNÁNDEZ CARMONA
Director de Tesis

DR. MAURICIO MUÑOZ OCHOA
2º. Director de Tesis

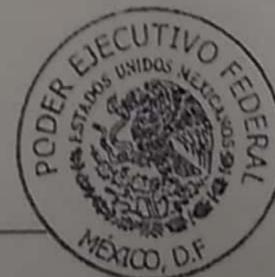
DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ

DRA. CLAUDIA JUDITH HERNÁNDEZ GUERRERO

M en C. DORA LUZ ARVIZU HIGUERA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS

La Paz, B.C.S., a 16 de Noviembre del 2017

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR en su sesión ORDINARIA No. 0-304-17 celebrada el día 16 del mes de Noviembre/2017 conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

FARFÁN

Apellido paterno

LÓPEZ

Apellido materno

EDWIN

Nombre (s)

Con registro:

B	1	5	0	1	5	2
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

- 1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:
"VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL DE *Sargassum horridum* Y SU RELACIÓN CON LA COMUNIDAD ASOCIADA"

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

DETERMINAR LA VARIACIÓN EN LA COMPOSICIÓN DE ALGUNOS ELEMENTOS QUÍMICOS EN LA POBLACIÓN DE *Sargassum horridum* Y SU RELACIÓN CON LA RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE LA COMUNIDAD ASOCIADA.

- 2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:

DR. GUSTAVO HERNÁNDEZ CARMONA

Y

DR. MAURICIO MUÑOZ OCHOA

- 3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesina será elaborado por el alumno en:
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

- 4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Director de Tesis

DR. GUSTAVO HERNÁNDEZ CARMONA

DR. MAURICIO MUÑOZ OCHOA

Aspirante

EDWIN FARFÁN LÓPEZ

Presidente del Colegio

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 11 del mes de Diciembre del año 2017

El (la) que suscribe BM. EDWIN FARFÁN LÓPEZ Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B150152 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. GUSTAVO HERNÁNDEZ CARMONA Y DR. MAURICIO MUÑOZ OCHOA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL

DE *Sargassum horridum* Y SU RELACIÓN CON LA COMUNIDAD ASOCIADA"

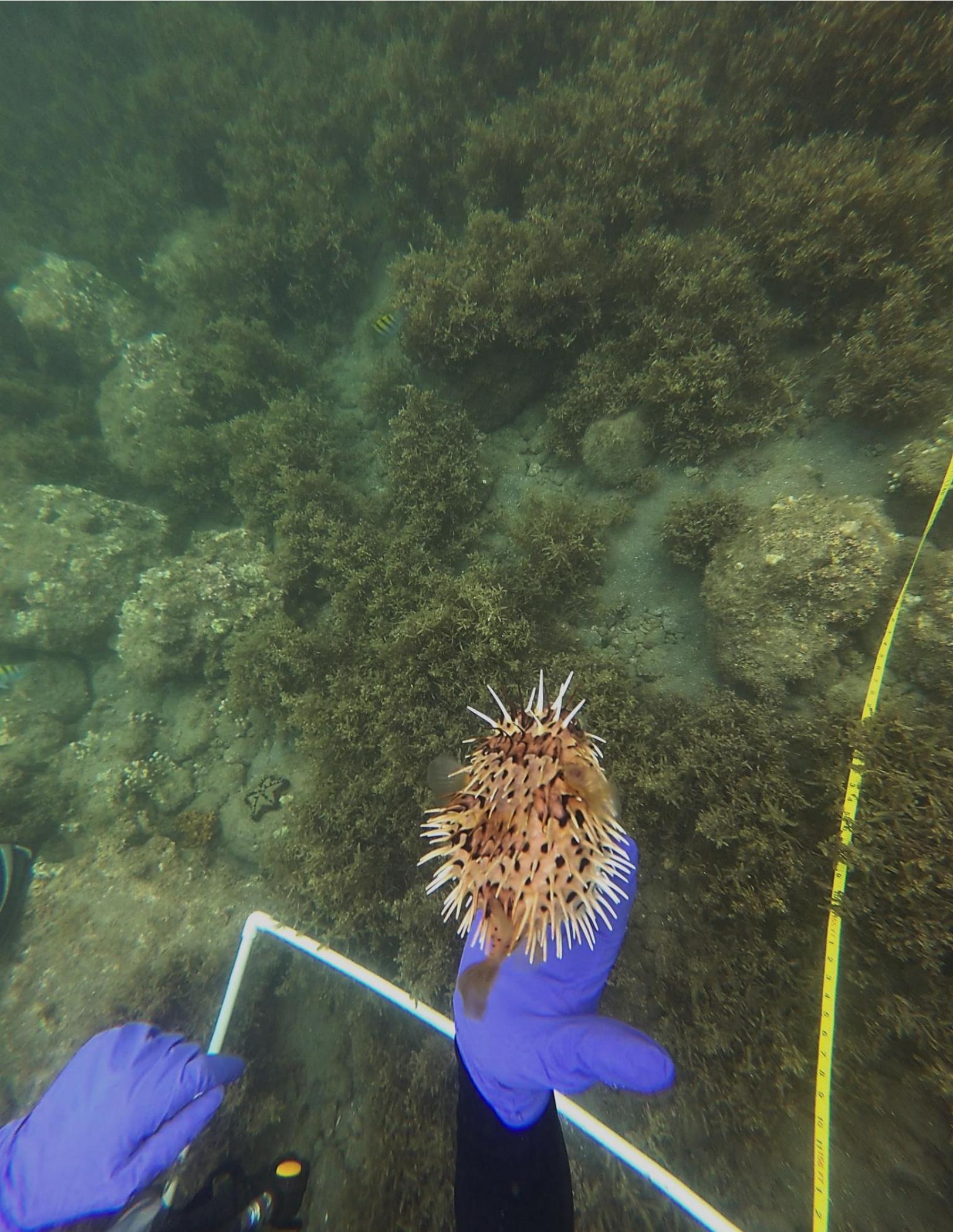
al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: egofar@gmail.com - gcarmona2007@gmail.com - mmo6709@gmail.com

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BM. EDWIN FARFÁN LÓPEZ

Nombre y firma del alumno



A mi madre y mi abuela

Por darme alas para volar,

Por su apoyo incondicional,

Por creer en mí,

Por su esfuerzo,

Por su amor...

AGRADECIMIENTOS

A México, por ser un gran anfitrión y permitirme desarrollar mi maestría; a La Paz, BCS por ser mi hogar durante este tiempo y a la Península de California por brindarme uno de los mejores viajes.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI), a las Becas de Posgrado de la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por las becas y apoyos económicos otorgados durante mi maestría.

A la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por su apoyo económico otorgado para la realización de este proyecto de tesis, a través de los proyectos “Producción de extractos de algas marinas como promotores de crecimiento de vegetales terrestres evaluados en condiciones hidropónicas (Registro SIP: 20161004)” y “Obtención de extractos de *Sargassum* spp. por diferentes métodos y su evaluación y cuantificación de la actividad antioxidante de compuestos fenólicos (Registro SIP: 20170029)”

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional - CICIMAR, por brindarme las herramientas necesarias para desarrollar mi formación de posgrado, por el apoyo prestado para el desarrollo del proyecto, la realización del curso de “Modelos de distribución de especies”, a los

administrativos y a su planta de profesores que me apoyaron en las clases, seminarios y tutorías.

A los maestros, candidatos a doctor, doctores, posdoctorales y amigos que me ayudaron durante el desarrollo de esta tesis, identificación de organismos, por sus comentarios, críticas y consejos, que permitieron desarrollar un mejor trabajo.

Al Dr. Gustavo Hernández Carmona por aceptarme como su estudiante, por su confianza y creer en mí, por la dirección en la tesis, soportar todas mis locuras y apoyarme durante todo este tiempo.

Al Dr. Mauricio Muñoz por codirigir la tesis, aceptarme como estudiante, soportar mis locuras, hacerme reír y brindarme su apoyo.

Al comité tutorial de este proyecto de tesis: MC. Dora Luz Arvizu Higuera, Dra. Claudia Hernández y Dra. Margarita Casas.

A mi madre, abuela y padre por su apoyo todos estos años, por creer en mí y permitirme crecer en cada momento, por su tiempo, dedicación y esfuerzo. Por darme y enseñarme las herramientas para ser la persona que soy, por ayudarme a cumplir mis sueños.

A mi familia, a Angelita, por su apoyo, por creer en mí y ser soporte desde lejos.

A mis amigos cercanos, a los viejos amigos, a los nuevos amigos, por su apoyo, por criticarme, aguantarme, por hacer un buen rato esta viaje.

A Solange por darme tu amistad, por ser como eres conmigo, por apoyarme, aguantarme y estar siempre ahí para ayudarme, eres mi hermanita.

A mis compañeros de laboratorio de química de algas marinas del CICIMAR, a MC. Yoloxochilt Rodríguez Montesinos y MC. Dora Luz Arvizu Higuera, por su apoyo, conocimientos, escucharme y su colaboración durante toda la maestría.

Al Laboratorio de Química de Algas Marinas, Laboratorio de Macroalgas, Laboratorio de Plancton del CICIMAR, por su apoyo durante las salidas de campo, procesamiento de muestras o análisis de laboratorio prestado para este proyecto.

A Aida, Pablo M. y Luli por escucharme y brindarme su amistad.

A todas las personas que de alguna forma fueron partícipes con su apoyo, consejos, guía y ayuda en el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	12
ÍNDICE DE FIGURAS	14
RESUMEN	20
ABSTRACT	21
1. INTRODUCCIÓN	22
2. ANTECEDENTES	24
2.1 Generalidades del género <i>Sargassum</i>	24
2.2 Ecología química	29
2.3 Justificación	33
2.4 Planteamiento del problema	34
2.5 Objetivo General	35
2.6 Objetivos Específicos	35
3. METODOLOGÍA	36
3.1 Área de estudio	36
3.2 Etapa de campo	39
3.2.1 Parámetros fisicoquímicos y ambientales	40
3.2.2 Estructura poblacional de <i>Sargassum horridum</i>	41
3.3 Etapa de laboratorio	43
3.4 Etapa de análisis	46
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1 Parámetros ambientales	48
4.1.1 Temperatura	48
4.1.2 Variables <i>in situ</i> y nutrientes	49
4.1.2.1 Oxígeno disuelto (OD)	49
	10

4.1.2.2	pH	50
4.1.2.3	Salinidad	51
4.1.2.4	Sólidos disueltos totales (SDT)	52
4.1.2.5	Nitratos, nitritos y amonio	53
4.2	Cobertura de la pradera de Boca del Sauzoso	56
4.3	Estructura poblacional de <i>S. horridum</i>	63
4.3.1	Cobertura y talla de <i>S. horridum</i>	63
4.3.2	Estados de desarrollo poblacional de <i>S. horridum</i>	71
4.3.3	Composición química de los talos de <i>S. horridum</i>	78
4.3.4	Descripción general de la pradera de <i>S. horridum</i>	91
4.4	Comunidad asociada	93
4.4.1	Comunidad íctica	93
4.4.2	Macroalgas	108
4.5	Relación entre la comunidad asociada y la composición química elemental de <i>S. horridum</i>	120
5.	CONCLUSIONES	130
6.	RECOMENDACIONES	133
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Función celular y compuestos formados por algunos de los principales elementos constitutivos del talo de las macroalgas y que influyen en su desarrollo y metabolismo. Modificado de Lobban & Harrison (1997).....	32
Tabla 2. Clasificación de los diferentes estados de desarrollo de <i>Sargassum horridum</i> . Las categorías fueron modificadas de las propuestas para las especies de <i>Sargassum</i> del Golfo de California (Nuñez & Casas, 1996).....	44
Tabla 3. Cobertura general de la pradera de <i>S. horridum</i> presente en Boca del Sauzoso, se muestra el tipo de cobertura y el grupo de dominancia del ecosistema al que pertenece cada especie o tipo evaluado.	57
Tabla 4. Cobertura promedio total de la pradera de macroalgas en el Boca del Sauzoso, teniendo en cuenta el modelo de dominancia del ecosistema.	58
Tabla 5. Perímetro y área de la pradera de macroalgas en Boca del Sauzoso, con las respectivas estimaciones de cobertura para cada estado de desarrollo de la población de <i>S. horridum</i>	68
Tabla 6. Clasificación del estado de desarrollo de la pradera de <i>S. horridum</i> para Boca del Sauzoso, de febrero de 2016 a enero de 2017.	77
Tabla 7. Contenido de nutrientes o elementos químicos esenciales reportados en macroalgas y en el presente estudio. El valor promedio del presente estudio se indica con su respectiva desviación estándar. Todos los valores están expresados en mg/kg. Las sombras corresponden a:  Macronutrientes y  Micronutrientes.....	79
Tabla 8. Contenido de algunos nutrientes en especies del género <i>Sargassum</i> , para diferentes zonas del mundo y su comparación con los promedios encontrados en el presente estudio. *Los valores se encuentran en ppm.	80
Tabla 9. Contenido promedio de nutrientes (mg/kg) del talo de <i>S. horridum</i> en cada época o estado de desarrollo de la pradera de Boca del Sauzoso. *Valores en porcentaje (%). Se indica el promedio con su valor de desviación estándar....	88

Tabla 10. Contenido promedio de nutrientes (mg/kg) en cada estado de desarrollo del talo de <i>S. horridum</i> para Boca del Sauzoso. *Valores en porcentaje (%). Se indica el promedio con su valor de desviación estándar.	91
Tabla 11. Descripción general de la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso. Bahía de la Paz, durante febrero de 2016 a enero de 2017. Donde P: Plántula. J: Juvenil. JO: Joven. M: Maduro. S: Senescente y L: Latente	92
Tabla 12. Composición específica de la comunidad íctica asociada a la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso de febrero del 2016 a enero 2017.	94
Tabla 13. Abundancia relativa mensual (%) por familias de la comunidad íctica asociada a una pradera de <i>S. horridum</i> . en Boca del Sauzoso durante el 2016...	98
Tabla 14. Riqueza, abundancia e índices estructurales de la comunidad íctica asociada a la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso.....	101
Tabla 15. Composición específica de la comunidad de macroalgas asociadas a la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso durante febrero 2016 a enero 2017. Donde * corresponde a las especies que forman tapetes algales.....	109
Tabla 16. Abundancia relativa mensual (%) por familias de la comunidad de macroalgas asociada a una pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso durante el 2016.	115
Tabla 17. Riqueza, abundancia e índices estructurales de la comunidad de macroalgas asociada a la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso.	115
Tabla 18. Correlaciones significativas con $r^2 \geq 0.6$, entre el contenido de nutrientes y la riqueza y abundancia de los grupos tróficos de la comunidad íctica asociados a la pradera de <i>S. horridum</i> de Boca del Sauzoso. La R indica la riqueza del grupo.	123
Tabla 19. Correlaciones significativas con $r^2 \geq 0.6$, entre el contenido de nutrientes y la riqueza y abundancia de los grupos funcionales de la comunidad macroalgal asociadas a la pradera de <i>S. horridum</i> de Boca del Sauzoso. La R indica la riqueza del grupo.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del ciclo de vida monofásico generalizado para las especies del género <i>Sargassum</i> . Modificado de Cruz (2012).	25
Figura 2. Mapa de los mantos de <i>Sargassum</i> spp. presentes en la Península y Golfo de California. La línea roja representa la distribución de los mantos. Modificado de Suárez (2014).	26
Figura 3. Ubicación de los diferentes mantos de <i>Sargassum</i> spp. presentes en la bahía de la Paz. Tomado de Hernández <i>et al.</i> (1990).....	27
Figura 4. Bahía de La Paz, B.C.S., México. a. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Boca el Sauzoso. Modificado de Suárez (2008). b. Pradera de <i>Sargassum horridum</i> de Boca del Sauzoso (Fotografía: Farfán, 2016).	38
Figura 5. Esquema del diseño de muestreo en cada transecto y como se conformó cada cuadrante, con su respectiva área.....	40
Figura 6. Esquema de los censos visuales realizados sobre cada transecto. Se observa la ventana imaginaria creada, para contar los individuos de la comunidad íctica, mientras se realiza el desplazamiento sobre el transecto. Modificado de English <i>et al.</i> (1997).	42
Figura 7. Temperatura promedio mensual del agua circundante de la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso, registrada durante febrero 2016 a enero de 2017. El ● indica la media para cada mes y las \pm la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.....	49
Figura 8. Concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua durante el monitoreo de la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso. El ● indica la media para cada mes y las \pm la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.....	50
Figura 9. Valores de pH durante el monitoreo de la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso. El ● indica la media para cada mes y las \pm la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.	51

Figura 10. Salinidad del agua de mar registrada durante el monitoreo de la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso. El ● indica la media para cada mes y las I la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.....	52
Figura 11. Sólidos disueltos totales registrados durante el monitoreo de la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso. El ● indica la media para cada mes y las I la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.	53
Figura 12. Concentración de nutrientes (nitritos, nitratos, amonio) presentes en el agua, durante el monitoreo de la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso, de febrero a agosto del 2016. El ● indica la media para cada mes y las I la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.	55
Figura 13. Correlaciones múltiples para las variables <i>in situ</i> , en la pradera de <i>S. horridum</i> , en Boca del Sauzoso, de febrero 2016 a enero 2017. Las X indican que no hay una correlación significativa, el tamaño del círculo muestra el nivel de la correlación y el color si la correlación es negativa o positiva, según la escala.....	55
Figura 14. Cobertura mensual (%) de las diferentes categorías del modelo de dominancia para la pradera de macroalgas de Boca del Sauzoso, durante febrero de 2016 y enero 2017.	58
Figura 15. Cobertura general promedio (%) de las especies de Boca del Sauzoso, agrupados en los diferentes estadios de desarrollo de la pradera para <i>S. horridum</i>	62
Figura 16. Cobertura promedio mensual (%) de <i>Sargassum horridum</i> en la pradera de Boca del Sauzoso, Bahía de La Paz. La – indica el valor de la media, las I punteadas los valores máximos y mínimos.	64
Figura 17. Cobertura (%) de <i>S. horridum</i> durante cada uno de los estados de la pradera, propuestos en el presente estudio, basados en el desarrollo de la macroalga dominante en Boca del Sauzoso. La – indica el valor de la media, las I punteadas los valores máximos y mínimos.	66
Figura 18. Delimitación de la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso durante febrero 2016 a enero 2017, para cada estado de desarrollo de la pradera. La – indica el perímetro de la pradera, ● indica la posición del sensor HOBO de	

temperatura. a. Primera generación (enero-abril). b. Segunda generación (mayo-junio). c. Senescencia (julio-septiembre). d. Latencia (octubre-diciembre).	67
Figura 19. Talla promedio de los talos de <i>S. horridum</i> registrada para cada mes de muestreo en la pradera de Boca del Sauzoso. El ● indica la media para cada mes y las \pm la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.	69
Figura 20. Talla promedio de los talos de <i>S. horridum</i> registrada para cada estado de desarrollo de la pradera Boca del Sauzoso. El ● indica la media para cada mes y las \pm la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.	70
Figura 21. Cobertura mensual de cada categoría de desarrollo del talo de <i>S. horridum</i> a lo largo del año de muestreo (febrero 2016 a enero 2017) en Boca del Sauzoso.	74
Figura 22. Cobertura de cada categoría de desarrollo del talo de <i>S. horridum</i> a lo largo del año de muestreo (febrero 2016 a enero 2017) en Boca del Sauzoso. ...	75
Figura 23. Cobertura total de la estructura de edades o categorías de desarrollo del talo de la población de <i>S. horridum</i> de Boca del Sauzoso durante febrero de 2016 a enero de 2017.	76
Figura 24. a. Variación del contenido de Calcio (mg/kg) del talo de <i>S. horridum</i> en los meses de monitoreo. b. Variación del Potasio (mg/kg). La – indica el valor de la media, las \pm punteadas los valores máximos y mínimos.	82
Figura 25. a. Variación del contenido de Sodio (mg/kg) del talo de <i>S. horridum</i> en cada uno de los meses de monitoreo. b. Variación del Nitrógeno (%). La – indica el valor de la media, las \pm punteadas los valores máximos y mínimos.	83
Figura 26. Variación del contenido de Fósforo (mg/kg) del talo de <i>S. horridum</i> en los meses de monitoreo. La – indica el valor de la media, las \pm punteadas los valores máximos y mínimos.	84
Figura 27. a. Variación del contenido de Hierro (mg/kg) del talo de <i>S. horridum</i> en cada uno de los meses de monitoreo. b. Variación del Manganeseo. La – indica el valor de la media, las \pm punteadas los valores máximos y mínimos.	86
Figura 28. Análisis discriminante para los diferentes estados de la pradera de <i>S. horridum</i> de Boca del Sauzoso, teniendo en cuenta el contenido de los nutrientes	

del talo, durante febrero 2016 a enero de 2017. La – indica el valor de la media, las \pm punteadas los valores máximos y mínimos, los ° valores extremos. 87

Figura 29. Análisis discriminante para los diferentes estados de desarrollo de *S. horridum* en Boca del Sauzoso, basado en el contenido de los nutrientes del talo, durante febrero 2016 a enero de 2017. La – indica el valor de la media, las \pm punteadas los valores máximos y mínimos. 90

Figura 30. a. Riqueza relativa total de los órdenes de la comunidad íctica registrados para la pradera de *S. horridum*. b. Riqueza específica total de cada familia de peces observadas en Boca del Sauzoso durante febrero 2016 a enero 2017. 95

Figura 31. Riqueza e importancia relativa total de los diferentes grupos tróficos representados en la comunidad íctica de los mantos de *S. horridum* en Boca del Sauzoso. 96

Figura 32. Abundancia relativa global de la comunidad íctica asociada a los mantos de *S. horridum* en Boca del Sauzoso. 97

Figura 33. Dominancia de las especies de la comunidad íctica según su frecuencia mensual y abundancia relativa, observadas en la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso. 99

Figura 34. Índices estructurales de la comunidad íctica asociada a la pradera de *S. horridum* de Boca del Sauzoso, durante febrero de 2016 a enero de 2107 a. Diversidad de Shannon (H') b. Uniformidad de Pielou y c. Dominancia. El • equivale a valor medio del índice y las \pm los valores máximos y mínimos, con un límite de confianza del 95%. 102

Figura 35. Dendrograma de similaridad de Bray Curtis para la comunidad íctica observada en Boca del Sauzoso. Los círculos representan los diferentes estados de desarrollo de la pradera (--- : primera generación. --- : segunda generación. --- : tercera generación y --- : latencia). 104

Figura 36. Riqueza específica promedio de la comunidad íctica para cada estado de desarrollo de la pradera de *S. horridum*. El • representa la media y \pm la desviación estándar con un intervalo de confianza del 95%. 106

Figura 37. Abundancia relativa de cada grupo trófico de la comunidad íctica según el estado fenológico de la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso. ND corresponde a las especies que no se conoce su grupo trófico.....	107
Figura 38. Dominancia de las especies de la comunidad de macroalgas según su frecuencia mensual y abundancia relativa, observadas en la pradera de <i>S. horridum</i>	111
Figura 39. Abundancia relativa global de las especies de macroalgas registradas en la pradera de Boca del Sauzoso, durante febrero 2016 a enero 2017.....	112
Figura 40. Abundancia relativa total de los grupos funcionales forma-función presentes en la comunidad de macroalgas de la pradera de <i>S. horridum</i> de Boca del Sauzoso.....	113
Figura 41. Índices estructurales de la comunidad de macroalgas de Boca del Sauzoso, presentes de febrero de 2016 a enero de 2017 a. Diversidad de Shannon (H') b. Dominancia y c. Uniformidad de Pielou. El ● equivale a valor medio del índice y las I los valores máximos y mínimos, con un límite de confianza del 95%.....	116
Figura 42. Dendrograma de similaridad de Bray Curtis para la comunidad de macroalgas observada en Boca del Sauzoso. Los círculos representan los diferentes estados de desarrollo de la pradera (--- : primera generación. --- : segunda generación. --- : tercera generación y --- : latencia).....	117
Figura 43. Riqueza específica promedio de la comunidad de macroalgas para cada estado de desarrollo de la pradera de <i>S. horridum</i>	119
Figura 44. Abundancia relativa de cada grupo funcional forma-función de la comunidad de macroalgas según el estado fenológico de la pradera de <i>S. horridum</i> en Boca del Sauzoso.	119
Figura 45. Correlación múltiple de la riqueza y abundancias de los grupos tróficos de la comunidad íctica con el contenido de nutrientes en el talo de <i>S. horridum</i> , para la pradera de Boca del Sauzoso. La R. indica la riqueza de cada grupo. Las X indican que no hay una correlación significativa, el tamaño del círculo muestra el nivel de la correlación y el color si la correlación es negativa o positiva, según la escala.....	121

Figura 46. Correlación múltiple de la riqueza y abundancia de los grupos funcionales forma-función de la comunidad macroalgal con el contenido de nutrientes en el talo de *S. horridum*, para la pradera de Boca del Sauzoso. La R. indica riqueza de cada grupo. Las X indican que no hay una correlación significativa, el tamaño del círculo muestra el nivel de la correlación y el color si la correlación es negativa o positiva, según la escala..... 125

Figura 47. Análisis de componentes principales para la riqueza y abundancia de las comunidades íctica y macroalgas, con el contenido de nutrientes del talo de *S. horridum* en la pradera de Boca del Sauzoso. La R. indica la riqueza de cada grupo..... 127

RESUMEN

Las funciones ecológicas que desempeñan los mantos de *Sargassum horridum* dependen de la estructura física que proporciona al ambiente y de su composición química, la cual regula las interacciones con la comunidad. Dichas relaciones fueron evaluadas en una población de *S. horridum* en Boca del Sauzoso, Bahía de La Paz, B.C.S. Se realizaron monitoreos mensuales durante un año (2016) para determinar la estructura de la población y parte de su composición química elemental (N, P, K, Na, Ca, Mg, Mn y Fe). Los muestreos estuvieron basados en el protocolo de NaGISA (Census of Marine Life), para evaluar la comunidad asociada de macroalgas y peces. Los resultados muestran que la población de *S. horridum* presenta su mayor biomasa, cobertura y talla durante marzo. Se encontraron dos picos de madurez a lo largo del año (marzo y junio), indicando la presencia de dos generaciones dentro de la población. La estabilidad de la pradera, está dada por un ingreso moderado de propágulos y en mayor parte por la permanencia de talos que se regeneran a partir del sujetador en el siguiente año. La composición química mostró una clara diferenciación entre estados de desarrollo, al igual que durante las diferentes etapas de la pradera a lo largo del año. De los elementos químicos analizados se determinó que el Ca, K, Na, N y Mg son macronutrientes, con contenidos promedio mayores a 8,840 mg/Kg, mientras que P, Fe y Mn son micronutrientes, estos presentaron valores promedio por debajo de 1,819 mg/kg. La comunidad íctica estuvo compuesta por 43 especies, con las mayores abundancias en los meses de marzo a julio, que corresponden con los meses de mayor biomasa de *S. horridum*. Las especies de peces más abundantes fueron *Stegastes rectifraenum*, *Abudefduf troschelii* y *Thalassoma lucasanum*. La riqueza de macroalgas fue de 30 especies, donde Rhodophyta fue la más abundante (64%), seguida de Phaeophyceae (20%) y Chlorophyta (13%), finalmente Cyanobacteria con un 3%. Se encontraron correlaciones significativas entre el contenido de K, P, N, Ca, Fe, Na con los grupos tróficos de la comunidad íctica y los grupos forma función de las macroalgas, influenciando en parte los atributos de las comunidades.

ABSTRACT

The ecological functions of *Sargassum horridum* forests depend on the physical structure that it provides to the environment and the chemical composition, which regulates the interactions within the community. These relationships were assessed in a population of *S. horridum* at Boca del Sauzoso, Bahía de La Paz, B.C.S. Monthly monitoring was carried out during one year (2016) to describe the population structure and the relation with some of the chemical elements (N, P, K, Na, Ca, Mg, Mn and Fe). Monitoring was based on the NaGISA protocol (Census of Marine Life), to assess the associated community of macroalgae, macroinvertebrates and fishes. The results show that the population of *S. horridum* presents the highest biomass, cover and size during March. Two peaks of maturity were found throughout the year (March and June), indicating the presence of two generations within the population. The forest stability is due to moderate entrance of propagules and in large part by the permanence of latent holdfast thallus that regenerate the following year. The chemical composition showed a clear differentiation between the development stages, as well as during the different stages of the forest throughout the year. The chemical elements analyzed determined that Ca, K, Na, N and Mg are macronutrients, with average contents higher than 8,840 mg/kg, while P, Fe and Mn are micronutrients, with average values below 1,819 mg/kg. The fish community was represented by 43 species, with the highest abundances from March to July, corresponding to the months with highest biomass of *S. horridum*. The most abundant species were *Stegastes rectifraenum*, *Abudefduf troschelii* and *Thalassoma lucasanum*. The richness of macroalgae community was 30 species, where Rhodophyta was the most abundant (64%), followed by Phaeophyceae (20%) and Chlorophyta (13%), finally Cyanobacteria with 3%. Significant correlations were found between the content of K, P, N, Ca, Fe, Na with the trophic groups of the fish community and the function groups of the macroalgae, influencing in part the attributes of the communities.

1. INTRODUCCIÓN

La variación en los parámetros hidrológicos, concentración y disponibilidad de nutrientes son factores determinantes en la distribución, productividad y estabilidad de las poblaciones que constituyen los ecosistemas, tanto en los ambientes terrestres como acuáticos (Margalef, 1974).

Los ambientes costeros se caracterizan por estar estrechamente influenciados por el ciclo de los elementos biogeoquímicos y presentar la mayor diversidad de los ecosistemas marinos, ya que esta depende de las interacciones que se dan en la parte física (continente - sedimentos), química del agua, atmósfera, hidrodinámica y biología de los organismos (Alvarez & Gaitán, 1994). Esto da como resultado una diversificación de climas, balances hidrológicos e influencias oceanográficas (Contreras *et al.*, 1997), generando que en dicha área se concentren la mayor cantidad de recursos pesqueros de interés comercial, artesanal e industrial (Okolodkov, 2010).

En las áreas costeras, la diversidad de especies es influenciada por la variación de las condiciones del ambiente, donde organismos como las macroalgas deben adaptarse a estos, dando como resultado una variación morfológica, fisiológica o metabólica (Capdevielle *et al.*, 2010). Gracias a estas variaciones, tienen una amplia distribución y están presentes en casi todos los mares; además, algunas especies que son explotadas como alimentos bajos en calorías, con alta concentración de nutrientes, vitaminas y minerales, llegan a ocupar un importante lugar en la alimentación de diferentes comunidades costeras (Novoa *et al.*, 2001).

La composición química del talo de *Sargassum* es variada y está caracterizada por diferentes compuestos de interés comercial. Se conoce que esta composición tiene efectos sobre las características del talo, determinando sus propiedades organolépticas, como su palatabilidad, textura, presencia y concentración de metabolitos secundarios. Esto tiene un efecto sobre las relaciones interespecíficas

e intraespecíficas de las especies de dicha comunidad (Díaz & McCook, 2005; Erickson *et al.*, 2006; Paul *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2008; Suárez *et al.*, 2013b; Di Filippo, 2014).

Estas comunidades también se ven afectadas por el cambio en la estructura física que aportan algunas especies de *Sargassum* al medio. Por ser formadoras de dosel, favorecen la formación de microhábitats, donde los organismos buscan refugio. Constituyen un ambiente propicio para el asentamiento larval, son un recurso alimenticio de gran importancia en la red trófica, son sitios de crianza y refugio de individuos de importancia pesquera, aumentando la riqueza y abundancia de especies de la comunidad, presentando un patrón de variación temporal asociado al desarrollo de dichos mantos (Ang & De Wreede, 1990; Stachowicz, 2001; Jobe & Brooks, 2009; Suárez *et al.*, 2013a, 2013b).

Los factores como la herbivoría, disponibilidad del sustrato, actividad alelopática e incrustante presentes en los hábitats de *Sargassum*, también están mediadas por las relaciones químicas entre los organismos y *Sargassum* como especie dominante y hábitat (Littler & Littler, 1983, 1985; Amsler, 2008). Teniendo en cuenta esto, es posible que exista una relación entre la composición química del alga y los atributos de la comunidad asociada (Steinberg, 1992).

El objetivo de este estudio fue determinar la variación en la composición química y estructura poblacional de la especie *Sargassum horridum*, y su efecto sobre la comunidad asociada. Ya que al ser considerados hábitats críticos son un punto focal para la conservación, explotación y manejo de los recursos pesqueros (Hernández *et al.*, 1990; Cruz, 1996; Rodríguez *et al.*, 2006).

2. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades del género *Sargassum*

El género *Sargassum* fue descrito por primera vez en 1820, a la fecha se han registrado 950 especies, de las cuales 361 son taxonómicamente aceptadas. Pertenece al grupo de las “algas pardas”, presenta una tonalidad marrón claro a oscuro, por la presencia de pigmentos carotenoides. En la actual clasificación se encuentran dentro del reino Chromista, phylum Ochrophyta, clase Phaeophyceae, subclase Fucophycidae, orden Fucales y familia Sargassaceae (Guiry & Guiry, 2017).

Las especies del género presentan talos arbustivos, son formadores de dosel, con un estipe que le da rigidez y flexibilidad, disco de fijación o sujetador, filoides sobre ejes primarios y secundarios, receptáculos encargados de la reproducción, aerocistos que le permiten permanecer erecta y/o flotante en la columna de agua (Setchnell & Gardner, 1924; Abbott & Hollenberg, 1992).

Es un alga pseudoperenne, cuentan con reproducción sexual (monofásica), con gametos y formación de cigoto (Figura 1) y una asexual o vegetativa la cual se produce por fragmentación y regeneración de un fragmento de talo (Hernández *et al.*, 1990; Nuñez & Casas, 1996; Guiry & Guiry, 2017).

Se encuentran desde la zona intermareal hasta el infralitoral a unos 20 m de profundidad aproximadamente. Pueden alcanzar talos hasta de 10 m de largo, formando grandes agregaciones que pueden llegar a tener varios kilómetros de extensión. Estas condiciones generan un sinfín de servicios ecosistémicos, creando un ambiente propicio para el desarrollo de organismos de diferentes phyla. Son importantes fijadores de CO₂, aportan a la estabilización de las costas y son un recurso alimenticio de gran importancia en la red trófica (Ang & De Wreede, 1990; Suárez *et al.*, 2013a, 2013b).

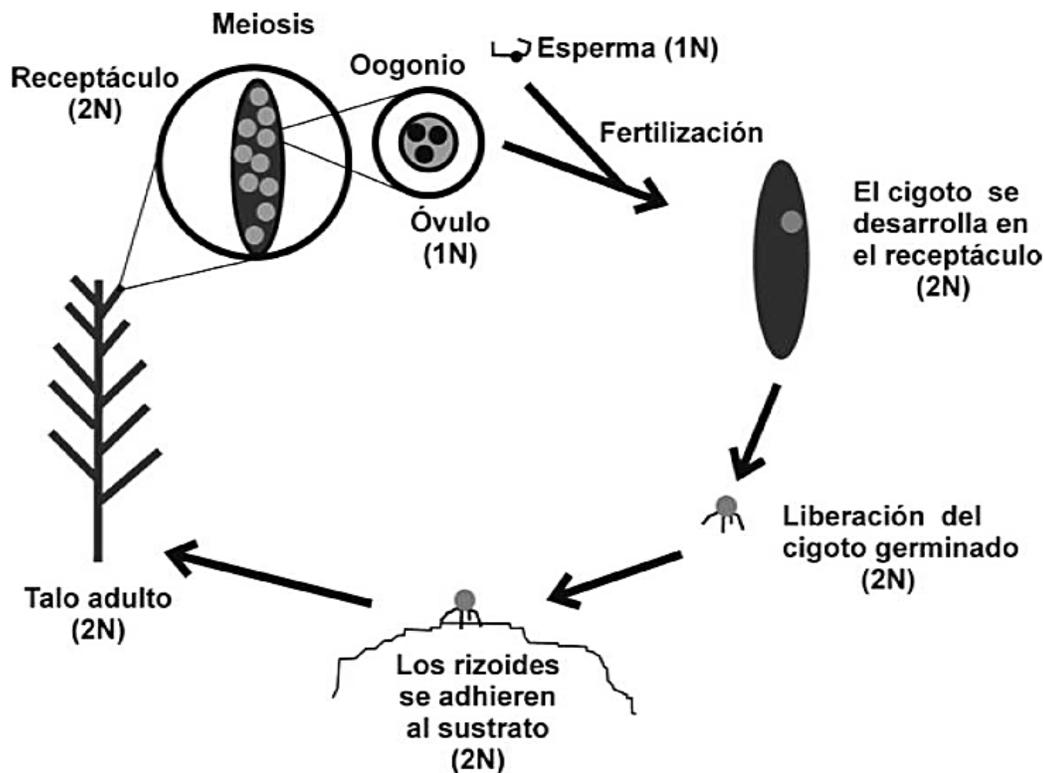


Figura 1. Esquema del ciclo de vida monofásico generalizado para las especies del género *Sargassum*. Modificado de Cruz (2012).

En la Península de Baja California y en el Golfo de California, los mantos de *Sargassum* pueden ser discontinuos o forman grandes extensiones que simulan un bosque submarino. Dentro de la comunidad macroalgal, es el género más representativo y abundante (Figura 2). Es de gran importancia en el ecosistema, por ser formadora de hábitat y fundamental en la red trófica, gracias al dosel que produce. Influye sobre la distribución de los organismos asociados a dichos ecosistemas, ya que aumenta la complejidad física y tridimensional del ambiente (Collado, 1997; Suárez, 2014).

En el Golfo de California se han registrado un total de 42 morfotipos, en la actualidad se ha confirmado la presencia de seis especies de *Sargassum*:

S. herporhizum, *S. horridum*, *S. johnstonii*, *S. lapazeanum*, *S. sinicola*, y *S. ulixei*, clasificadas morfológica y genéticamente. Estas variaciones en los registros se deben a la alta plasticidad fenotípica que presenta el género y al avance en las nuevas técnicas de clasificación taxonómica (Andrade *et al.*, 2014).

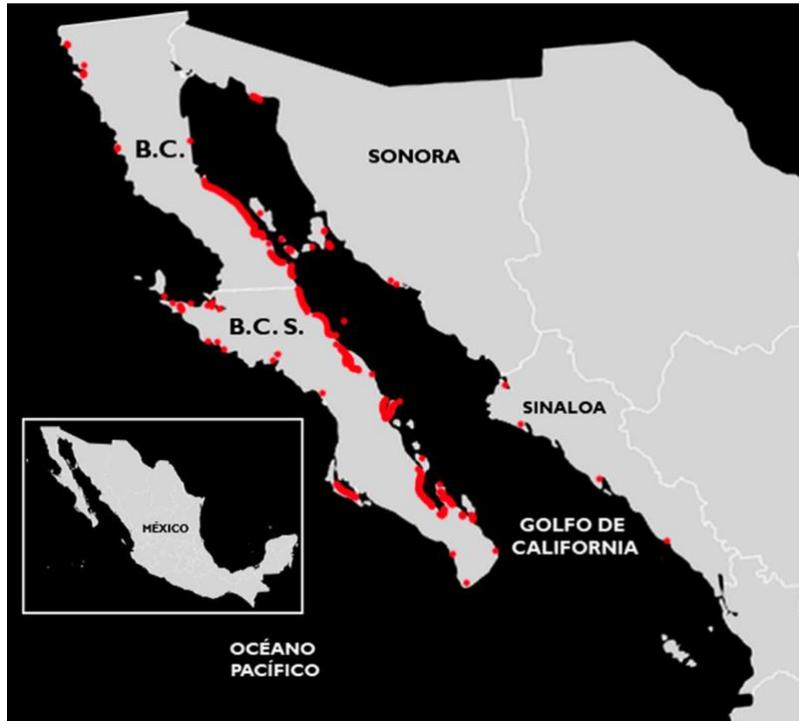


Figura 2. Mapa de los mantos de *Sargassum* spp. presentes en la Península y Golfo de California. La línea roja representa la distribución de los mantos. Modificado de Suárez (2014).

Uno de los sitios con mayor producción de biomasa dentro el Golfo de California, es la bahía de La Paz, donde los mantos de sargazos son abundantes a lo largo del litoral rocoso del oeste y norte de la bahía (Figura 3). En su mayoría están compuestos por las especies *S. horridum* y *S. lapazeanum* (Hernández *et al.*, 1990; Paul, 2005); sin embargo actualmente se reconocen dos especies más para la bahía *S. sinicola* y *S. johnstonii* (Andrade *et al.*, 2014).

Estas especies presentan un desarrollo estacional, cuando la temperatura del agua descende, los mantos presentan su mayor cobertura y biomasa, donde *S.*

horridum es el componente más representativo de dicha comunidad. Entre marzo y junio se presenta la máxima biomasa y cobertura; su periodo reproductivo está determinado para los meses de mayo a julio (Muñeton, 1989; Hernández *et al.*, 1990; Muñeton & Hernandez, 1993; Cruz, 1996; Foster *et al.*, 2007; Suárez *et al.*, 2013b; Méndez *et al.*, 2014).

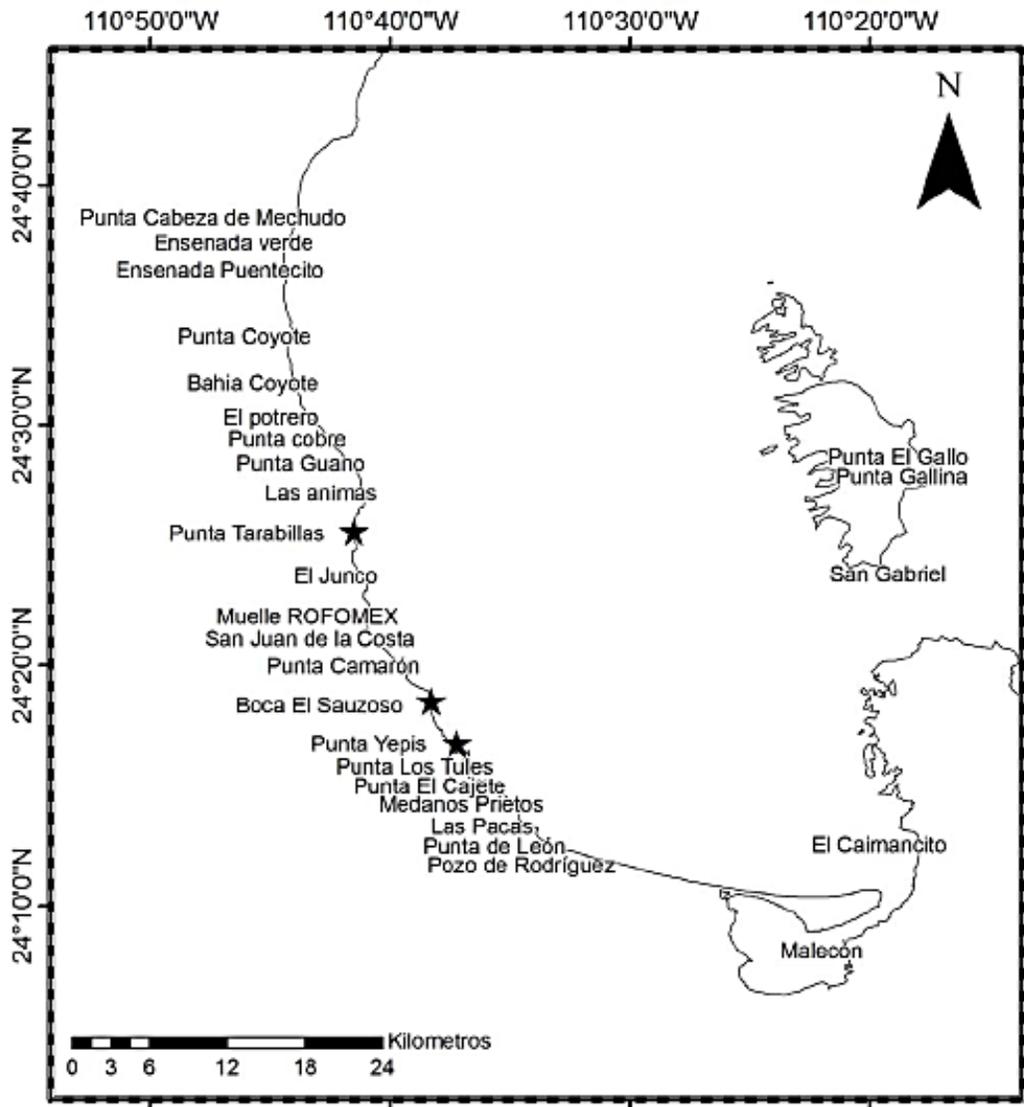


Figura 3. Ubicación de los diferentes mantos de *Sargassum* spp. presentes en la bahía de la Paz. Tomado de Hernández *et al.* (1990).

S. horridum se caracteriza por presentar foliolos lanceolados, acusados, con márgenes profundos y moderadamente aserrados. Presenta profundos y abundantes criptostomas en hojas y vesículas. Sus receptáculos son esféricos de 4-8 mm de diámetro, forman racimos y pueden ser espinosos (Setchnell & Gardner, 1924). Sin embargo, se puede identificar inicialmente por la forma esférica de sus vesículas con ornamentaciones (Andrade *et al.*, 2014).

Para esta especie se han realizado estudios de composición y estructura poblacional, la diversidad asociada en dichas coberturas, se ha determinado su máxima talla (2 m) y los periodos de mayor cobertura y biomasa (Muñetón & Hernandez, 1993; Paul, 2005; Foster *et al.*, 2007; Andrade *et al.*, 2008, 2014). Se ha determinado que la capacidad de acumular cadmio por parte de esta especie es elevada. Por tener poblaciones amplias y bien distribuidas lo hace una adecuado bioacumulador (Patrón *et al.*, 2011).

Actualmente se conoce gran parte de la composición química de *S. horridum*. Se ha encontrado que sus alginatos son pardos, con alto contenido de compuestos fenólicos, presentan actividad bioestimulante de desarrollo, son fuente de nuevos materiales que permiten procesos de encapsulación de microorganismos, facilitando la inmovilización celular y promueven el crecimiento de plantas (Yabur *et al.*, 2007). Esta especie ha sido sometida a pruebas de enriquecimiento de nutrientes artificiales (N, K, P), sin evidenciarse diferencias significativas en el desarrollo de la población para ambientes naturales y enriquecidos (Rodríguez *et al.*, 2008).

Esta especie presenta compuestos químicos con características de importancia comercial, industrial o médica. Se trata de un recurso renovable de fácil recolección y su costo de producción es moderadamente más bajo que el de otros géneros (Yabur *et al.*, 2007). Por lo tanto es necesario complementar los análisis químicos de la composición y concentración de nutrientes del talo, entre otros (Balboa *et al.*, 2015).

2.2 Ecología química

La producción de metabolitos secundarios por parte de los diferentes organismos incrementa la eficiencia biológica de las especies, generando cambios en las relaciones inter e intra específicas del organismo, las cuales modifican la dinámica de la comunidad (Paul, 1992; Firn & Jones, 2000; Stachowicz, 2001).

Por su parte, las comunidades macroalgales regulan la estructura de la comunidad con efectos ascendentes, produciendo metabolitos secundarios que serán empleados en procesos intra e inter específicos como la defensa, cambiando la estructura de los herbívoros. Sin embargo, en respuesta a estos cambios en el tiempo, los individuos pueden presentar especialización alimentaria, secuestro de compuestos químicos, generando un efecto descendente dentro de la comunidad (Paul, 1992; Pereira & Gama, 2008).

Algunas especies de macroalgas obtienen protección contra la herbivoría a través de las “defensas asociativas”, donde algunas especies altamente consumidas se establecen, desarrollan y coexisten cerca de especies no palatables, dando como resultado coberturas directamente correlacionadas. Al aumentar la cobertura de la especie no palatable también lo hace la de la especie consumida. Se genera así, una típica asociación de defensa, que afecta la estructura y dinámica de la comunidad (Pereira & Gama, 2008).

Este tipo de asociación se observa entre *Sargassum filipendula* y *Gracilaria tikvahiae*, donde la alta producción de polifenoles por parte del sargazo la protege de ser consumida por los herbívoros y *Gracilaria* al coexistir con ella se beneficia de esa condición; aumentado su cobertura cuando *Sargassum* lo hace (Pereira & Gama, 2008).

Existen diferentes teorías acerca de la defensa química en las plantas, sin embargo, la segunda teoría llamada Modelo de Balance Carbono-Nutrientes

(CNBM), indica que la palatabilidad y composición estructural de la macroalga es afectada por la química secundaria y su contenido nutricional. Los cambios en la química secundaria pueden estar dados por diferentes relaciones simbióticas y no solo por la defensa, aparte de la presión ejercida por los factores ambientales (Pavia & Toth, 2008).

Se han realizado diferentes pruebas de los modelos, donde se ha estudiado el efecto de los nutrientes sobre el contenido de fucoidano en *Fucus vesiculosus*, con resultados variables; sin embargo, se han encontrado correlaciones negativas entre el contenido de nitrógeno y de fluorotaninos del talo. Adicionalmente, la relación C:N no presenta diferencias significativas entre áreas con diferentes grados de eutrofización, también se debe tener en cuenta que dicha relación presenta variaciones inter e intra específicas que afectan el modelo (Pavia & Toth, 2008).

La tercera teoría, el modelo de balance crecimiento-diferenciación (GDBM), nos indica que la composición química del talo puede variar con su estado de desarrollo, evidenciándose cambios en su palatabilidad, ya que los herbívoros prefieren talos jóvenes y suaves a los talos más viejos, que presentan un mayor contenido de metabolitos secundarios y una composición nutricional diferente (Pavia & Toth, 2008).

Estas variaciones se observan en algas pardas del género *Dictyota*, las cuales presentan una alta concentración de terpenos en individuos maduros, lo que disminuye su palatabilidad y consumo por parte de los herbívoros presentes en el ecosistema; mientras que algunas especies de *Sargassum* lo hacen a través de compuestos polifenólicos (Pavia & Toth, 2008).

También se sabe que la distribución de los metabolitos secundarios dentro del talo varía según el tipo de estructura y tipo de células que lo conforman, sean de tipo

vegetativo, meristemático o reproductivas (Pavia & Toth, 2008; Jobe & Brooks, 2009).

La fisiología de las algas cambia con respecto a su desarrollo. Se ha observado que los meristemas de la punta del talo de *S. filipendula* contribuyen más al crecimiento que los de la parte basal, presentando una mayor eficiencia biológica; indicando que el meristemo basal produce defensas para su resistencia y protección (Pavia & Toth, 2008).

La palatabilidad y variedad de metabolitos secundarios presentes en un alga, pueden variar, por tanto, es importante encontrar una relación con respecto a la química elemental del talo, ya que al final todos los compuestos estructurales, metabólicos y demás de la macroalga están formados por elementos o combinaciones de estos, con variaciones a lo largo de su desarrollo (Tabla 1).

Tabla 1. Función celular y compuestos formados por algunos de los principales elementos constitutivos del talo de las macroalgas y que influyen en su desarrollo y metabolismo. Modificado de Lobban & Harrison (1997).

Elemento	Función	Compuestos
Calcio (Ca)	Compuesto estructural Activación enzimática Cofactor en el transporte de hierro	Alginato de Calcio Carbonato de calcio
Fósforo (P)	Compuestos estructurales Transferencia de energía	ATP-GTP Ácidos nucleicos Fosfolípidos Coenzimas (CoA) Piruvato
Hierro (Fe)	Grupos activos porfirinas Estructura enzimática	Citocromos, Ferroxidasa Nitrato y nitrito reductasa Catalasa
Magnesio (Mg)	Pigmentos fotosintéticos Activación enzimática Cofactor en el transporte de hierro Estabilidad ribosomal	Clorofila
Manganeso (Mn)	Transporte de electrones en el fotosistema II Sustento en el mantenimiento de la estructura de la membrana del plasto	
Nitrógeno (N)	Mayor elemento de importancia metabólica, formación de compuestos metabólicos y estructurales	Aminoácidos, Purinas, Pirimidinas Aminas
Potasio (K)	Regulación osmótica Control de pH Estabilidad y conformación de proteínas	Forma iónica libre
Sodio (Na)	Activación enzimática Balance hídrico	Nitrato reductasa

2.3 Justificación

Sargassum spp. al ser formadora de mantos, es una especie fundamental de la comunidad y de las más abundantes de la bahía de la Paz, con una biomasa total anual calculada en 18,000 toneladas (Hernández *et al.*, 1990), influyen la diversidad y abundancia de las especies asociadas, reflejando la dinámica del ecosistema y su variación a los cambios ambientales y/o antropogénicos (Collado, 1997; Beas & Ladah, 2014).

Estos “bosques” albergan organismos que muestran un patrón de alternancia y variación temporal que está asociado al desarrollo del manto de sargazos. Encontrándose especies importantes en la red trófica, endémicas (*Stegastes rectifraenum*), que se desarrollan en dicho hábitat durante alguna etapa de su vida (reclutas, alevines, juveniles o adultos) o que se encuentran bajo algún estatuto de protección ambiental, de importancia comercial, pesquera u ornamental (Collado, 1997; Suárez, 2014; Froese & Pauly, 2017).

Es necesario establecer la forma en que dicho recurso debe ser conservado, ya que en los últimos años se ha documentado una reducción en la cobertura de estos a lo largo del Golfo de California y su explotación afectaría algunas de las especies asociadas (Suárez, 2014). Además, para su comercialización es necesario conocer sus estados de regeneración, crecimiento, reproducción, senescencia y reclutamiento (Ang & De Wreede, 1990; Cruz, 1996; Foster *et al.*, 2007; Suárez *et al.*, 2013a, 2013b). Para reducir el impacto generado y dar el tiempo suficiente para su recuperación, causando la menor afectación a la estructura de la comunidad y ecosistema (Collado, 1997; Suárez *et al.*, 2013a).

Se debe ampliar el conocimiento de las relaciones con las especies asociadas a los mantos de *Sargassum horridum*. Considerando la plasticidad fenotípica de las algas marinas, se deben realizar meta-análisis o estudios que involucren la

mayoría de variables que afectan a la comunidad. Que permitan valorar los efectos en conjunto, su variación y tamaño; así como, describir y explicarlas.

La pradera de Boca del Sauzoso fue seleccionada como modelo para determinar estas relaciones, por ser una pradera de sargazo que está conformada por *S. horridum*, la cuál es la especie dominante en el infralitoral, presenta un gran dosel que aumenta la complejidad física del ambiente, brindando protección y refugio a los organismos, reduciendo el efecto físico de las olas (Paul, 2005; Suárez, 2008).

También se ha reportado que este sitio contiene el mayor valor promedio de biomasa de *Sargassum* (16.61 kg/m²), con mantos de gran extensión y distribución continua (Rodríguez *et al.*, 2008). Aquí, la población de *Sargassum horridum* muestra dos temporadas diferenciadas a lo largo del año: una de mínima biomasa de julio a enero y otra de máxima de marzo a junio, con periodos reproductivos de mayo a julio (Muñeton, 1989; Paul, 2005).

2.4 Planteamiento del problema

S. horridum cumple una función importante dentro de la comunidad al ser formadora de hábitat, regula el asentamiento y desarrollo de las diferentes especies asociadas y modifica el espacio físico del ambiente. Sin embargo, al ser un organismo sésil y vegetal, la mayoría de sus relaciones inter e intraespecíficas están mediadas por compuestos químicos, de las que se desconoce gran parte; razón por la cual el presente trabajo espera determinar ¿cómo la composición química elemental de *Sargassum horridum* se relaciona con la riqueza y abundancia de la comunidad asociada, durante un ciclo anual, en Boca del Sauzoso? Por lo cual, se deriva la hipótesis que la composición química estará relacionada significativamente con los grupos tróficos de la comunidad íctica y los grupos funcionales forma-función de las macroalgas asociadas.

2.5 Objetivo General

Determinar la variación en la composición de algunos elementos químicos en la población de *Sargassum horridum* y su relación con la riqueza y abundancia de la comunidad asociada, en Boca del Sauzoso, durante un ciclo anual, en La bahía de La Paz B.C.S., México.

2.6 Objetivos Específicos

- ☞ Evaluar los principales factores ambientales que afectan a la pradera de macroalgas y determinar los cambios en su cobertura durante un ciclo anual, en Boca del Sauzoso.
- ☞ Evaluar la estructura poblacional y fenología de *S. horridum* durante un ciclo anual.
- ☞ Determinar la variación en la química elemental (N, P, K, Na, Ca, Mg, Mn y Fe) de *Sargassum horridum* durante un ciclo anual.
- ☞ Caracterizar los atributos de la comunidad íctica y macroalgas, asociadas a la pradera de *Sargassum* en Boca del Sauzoso.
- ☞ Determinar la relación entre la composición química elemental y los atributos de las comunidades asociadas en los mantos de *Sargassum horridum*.

3. METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

La bahía de La Paz está ubicada al sur de la península de Baja California a los 24°08'32" N y 110°18'39"O, sobre la costa occidental del Golfo de California. Se caracteriza por presentar un clima árido y muy seco, con una evaporación anual de 215 mm y una precipitación anual de 180 mm, las cuales en su mayoría provienen de lluvias provocadas por tormentas tropicales que se forman en el Pacífico (Obeso *et al.*, 2008).

Es el sistema costero más grande y profundo del Golfo de California, presenta unas dimensiones de 80 km de largo y 35 km de ancho, su boca se encuentra proyectada hacia el norte, con dos complejos insulares Espíritu Santo y la Partida, quedando conectada con el Golfo por medio de dos bocas, siendo más amplia en la zona norte de la bahía (Obeso *et al.*, 2008).

La bahía presenta una plataforma continental moderada (25 km), de fondos arenosos, con fragmentos de carbonato de calcio, un bajo aporte de nutrientes por parte de aguas continentales y uno amplio por aguas de surgencia. Su ubicación hace que presente procesos de sedimentación y esté sujeta a una alta erosión por el oleaje y corrientes del Golfo o Mar de Cortés (Alvarez & Gaitán, 1994).

La parte norte de la bahía se caracteriza por presentar playas rocosas formadas por litorales y cantos rodados, mientras que hacia el sur, la profundidad decrece gradualmente hasta llegar a formar playas someras y extensas, formadas por sedimentos aluviales y una línea de costa rocosa (Velasco, 2009).

Las condiciones hidrográficas se encuentran influenciadas por los procesos de mesoescala que tienen lugar en el sur del Golfo y por los procesos oceanográficos y atmosféricos que ocurren en el Pacífico (Obeso *et al.*, 2008). Presenta un

régimen de marea mixto y semidiurno, donde la amplitud de marea puede llegar a ser mayor a un metro.

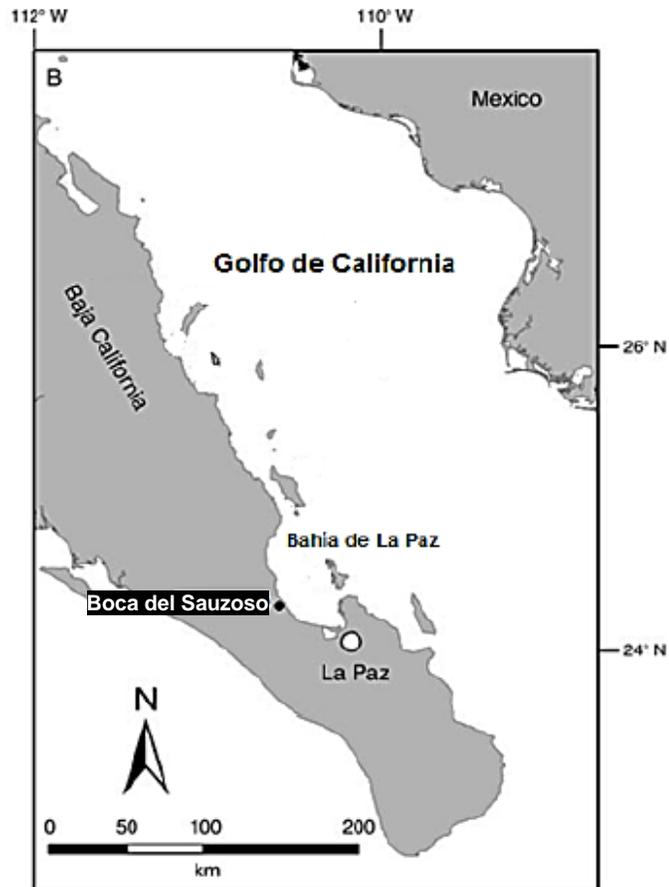
Las aguas de la bahía de La Paz presentan una temperatura superficial alta, que comprende desde 19 °C en los meses fríos, hasta 30 °C, asociadas a los meses cálidos de verano, donde se presenta la mayor exposición de horas luz (Obeso *et al.*, 2008). La producción primaria bruta muestra un intervalo de 0.2-21 mg C/mg Cla h, siendo de los valores más altos para el Golfo de California. La producción primaria integrada (PP) es superior a 350 g C/m² año, indicando que la bahía tiene un perfil de producción alto (Verdugo *et al.*, 2014).

En la parte central de la bahía de La Paz, se encuentra la localidad de Boca del Sauzoso (Figura 4), ubicada a 24°18'40" N y 110°38'28" O, la cual cuenta con una playa rocoso-arenosa, presenta una pendiente moderada y está protegida de la acción directa del oleaje y corrientes de la bahía.

Por la gran cantidad de sustrato rocoso disponible como cantos rodados y roca madre (una franja de hasta 60 m hacia aguas adentro de la línea de costa), cuenta con una pradera de *S. horridum* de gran extensión y distribución continua, permanente durante los años, permitiendo su seguimiento y monitoreo (Hernández *et al.*, 1990; Suárez, 2008).

Esta pradera cuenta con estudios y caracterizaciones tanto en algunos componentes químicos como diversidad de la fauna asociada, lo cual permite contar con información base y registros históricos de utilidad para el presente estudio (Suárez, 2008; Méndez, 2013; Suárez *et al.*, 2013b; Di Filippo, 2014).

a.



b.



Figura 4. Bahía de La Paz, B.C.S., México. **a.** Ubicación geográfica de la zona de estudio. Boca el Sauzoso. Modificado de Suárez (2008). **b.** Pradera de *Sargassum horridum* de Boca del Sauzoso (Fotografía: Farfán, 2016).

3.2 Etapa de campo

Inicialmente se realizó un reconocimiento para determinar el área de trabajo dentro de la pradera, el lugar para la toma de parámetros fisicoquímicos y la ubicación del sensor de temperatura HOBO Pendant® Data Logger UA-002-64, que fue programado para registrar los datos de temperatura cada 15 minutos durante todo el periodo de muestreo (un año). También se delimitó la comunidad a estudiar teniendo en cuenta la profundidad, mareas, especie dominante y sustrato.

Se realizó un monitoreo mensual de la pradera de *S. horridum*, durante un periodo hidrológico completo o su equivalente de febrero 2016 a enero 2017, exceptuando el mes de septiembre (por condiciones de tormentas típicas de este mes). Se ubicaron dos transectos submareales de 50 metros de largo, paralelos a la línea de costa, donde se realizaron muestreos mensuales cuantitativos y cualitativos por medio de buceo autónomo.

En cada transecto, cada 10 m se ubicaron las unidades muestréales para el monitoreo de la pradera de forma sistemática (Figura 5), siguiendo los protocolos estandarizados de NaGISA (Natural Geographic In Shore Areas) especializados en comunidades macroalgales y metodologías aplicadas en el Golfo de California.

La unidad de muestreo estuvo compuesta de tres subunidades o cuadrantes: a) cuadrante de 1 m² de área, de donde se registraron datos de cobertura, tipo de sustrato, invertebrados modulares asociados y registro fotográfico (>2 cm), b) cuadrante de 0.25 m² en el que se evaluó la población *Sargassum horridum* y c) un cuadrante de 0.0625 m² donde se registraron todos los invertebrados y macroalgas (Hernández *et al.*, 1990; Foster *et al.*, 2007; Rigby *et al.*, 2007; Camacho & Hernández, 2012; Suárez *et al.*, 2013a; Beas & Ladah, 2014) (Figura 5).

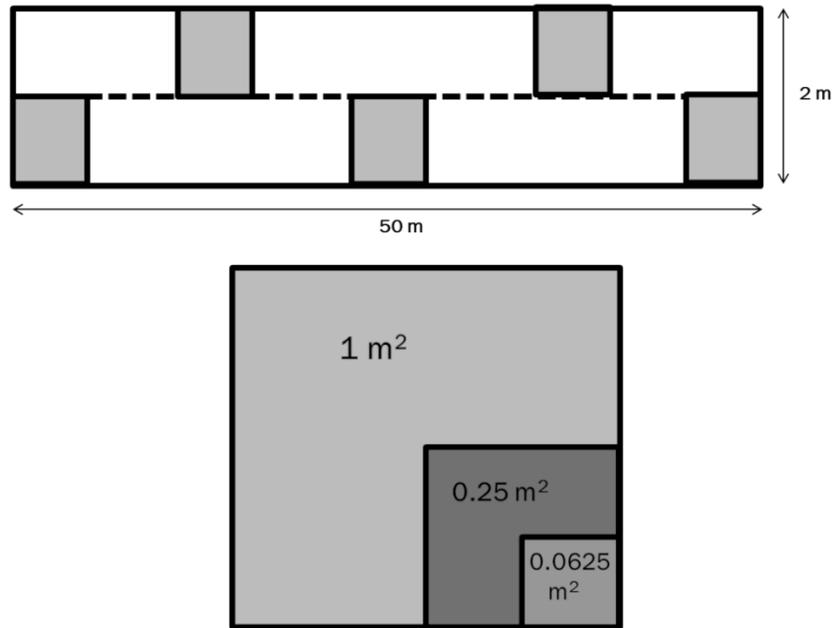


Figura 5. Esquema del diseño de muestreo en cada transecto y como se conformó cada cuadrante, con su respectiva área.

3.2.1 Parámetros fisicoquímicos y ambientales

Durante el monitoreo mensual, se tomaron dos muestras de agua puntuales con la mayor frecuencia posible (febrero-agosto), a un metro de profundidad, del agua circundante a la pradera de *S. horridum*, en frascos de plástico debidamente rotulados; por problemas logísticos para los meses restantes (septiembre-enero) no fue posible tomar las muestras respectivas. Estos fueron colocados en hielo para su traslado y análisis en el Laboratorio de Análisis Químico de Agua del CIBNOR. Los parámetros determinados fueron: nitritos, nitratos, amonio y sulfatos.

Con un equipo medidor de multiparámetros HORIBA U-51, al momento de tomar la muestra de agua, se registraron los parámetros fisicoquímicos de pH, temperatura del agua (°C), salinidad, oxígeno disuelto (OD) y sólidos disueltos totales (STD). Los cuales son los principales indicadores de cambios en las condiciones físico-químicas del agua y disponibilidad de nutrientes (Contreras *et al.*, 1997). De igual forma se contó con los datos de mareas, brillo solar y

temperatura ambiental proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional de México.

3.2.2 Estructura poblacional de *Sargassum horridum*

Para determinar los principales cambios en la pradera a lo largo del año y realizar un seguimiento, el área total de la pradera se determinó cada tres meses por medio de un GPS de alta precisión, de una video cámara Garmin Vird X® y equipo básico de buceo. Esto se realizó nadando sobre los límites de la pradera y registrando la posición de los puntos del polígono formado.

La cobertura de *Sargassum horridum* se determinó a partir del porcentaje de cubrimiento sobre el sustrato con respecto al subcuadrante de 1 m², apoyado en el registro fotográfico de cada unidad muestral y la información registrada en tablas acrílicas. Para determinar los parámetros de cobertura en función del número de talos, talla y estructura poblacional, cuidadosamente se colectaron manualmente todos los talos de *S. horridum* encontrados en cada subcuadrante de 0.25 m² muestreado (Downing & Robin, 1985; Camacho & Hernández, 2012; Suárez *et al.*, 2013b).

El material recolectado se almacenó por separado en arpillas, después de escurrir el agua de mar, debidamente rotuladas y fueron colocadas en hieleras para su traslado al laboratorio.

3.2.3 Comunidad asociada

3.2.3.1 Peces

Los peces asociados a los mantos fueron evaluados a través de dos censos visuales en cada transecto, cada 20 minutos; teniendo en cuenta las reglas de ejecución y de exclusión establecidas en el protocolo de NaGISA (Figura 6). Se registraron primero los individuos que están en la columna de agua, seguido de

las especies que presentan hábitos crípticos. Los individuos fueron identificados a nivel de especie y se registró sus abundancias. Adicionalmente, el registro estuvo apoyado en fotografías y videos del censo. Este censo de individuos es un indicador rápido de las relaciones ecológicas que se dan y el estado que guarda el ecosistema (Rigby *et al.*, 2007).

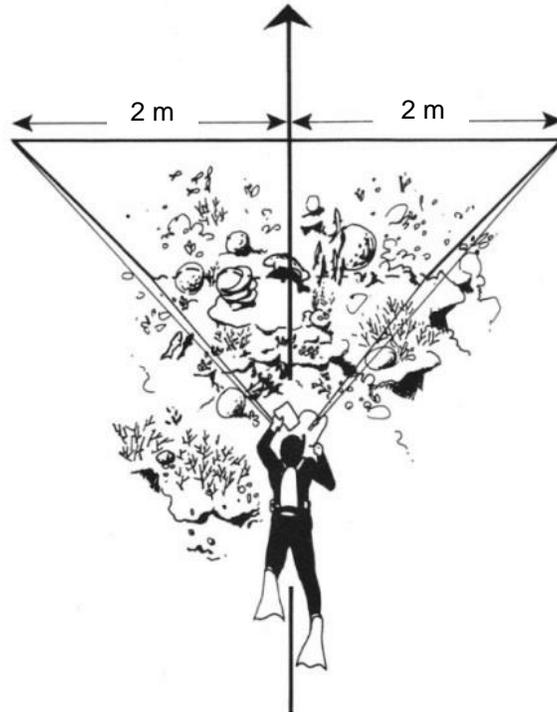


Figura 6. Esquema de los censos visuales realizados sobre cada transecto. Se observa la ventana imaginaria creada, para contar los individuos de la comunidad íctica, mientras se realiza el desplazamiento sobre el transecto. Modificado de English *et al.* (1997).

3.2.3.2 Invertebrados modulares y macroalgas

La abundancia de invertebrados y macroalgas fue registrada dentro de dos subunidades muestrales, se determinó a partir del porcentaje de cubrimiento de macroalgas e invertebrados modulares sobre el sustrato con respecto al subcuadrante de 1 m². Simultáneamente se realizó un registro fotográfico como complemento a la información capturada en campo. De cada grupo de individuos registrados se colectó uno para su identificación taxonómica en el laboratorio, lo organismos serán clasificados según el modelo de dominancia relativa.

Mientras que en los cuadrantes de 0.25 m x 0.25 m (0.0625 m²) se colectaron los invertebrados (macro) y macroalgas presentes. Estos fueron colocados en bolsas resellables sin agua de mar, se congelaron y almacenaron hasta su identificación en el laboratorio, para documentar la abundancias de dichos organismos (Rigby *et al.*, 2007; Jobe & Brooks, 2009; Méndez, 2013).

La caracterización de la comunidad macroalgal tuvo en cuenta las especies que afectan la cobertura de *Sargassum horridum* como es el caso de *Acanthophora spicifera*, la cual es un alga invasora y fuerte competidora por sustrato (Méndez *et al.*, 2014). Mientras que para la comunidad íctica, se calculó la riqueza y abundancia de peces herbívoros, omnívoros y ramoneadores, ya que el aumento en la población de éstos puede afectar el recurso macroalgal (Beas & Ladah, 2014).

3.3 Etapa de laboratorio

3.3.1 Estructura poblacional de *S. horridum*

Las algas recolectadas en cada cuadrante de 0.25 m² fueron lavadas con agua destilada para evitar la contaminación de la muestra. Los talos fueron limpiados cuidadosamente de epífitos y epizoontes, colocados sobre rejillas para retirar el exceso de agua y se realizó una observación de los talos confirmando la especie de trabajo (*Sargassum horridum*) (Andrade *et al.*, 2014).

Para determinar el estado de desarrollo de la población, los talos fueron medidos desde la base del disco de fijación hasta el ápice de la rama principal y se determinó la talla, basándonos en las frondas más largas de cada individuo (Muñetón & Hernandez, 1993). Luego fueron clasificados según su estado de desarrollo (Tabla 2), la categorización de las tallas de muestreo o fenología estacional se realizó según la longitud y características morfológicas en: plántulas, juveniles, jóvenes, maduros y senescentes (Nuñez & Casas, 1996).

Los cambios fueron expresados como la presencia, abundancia y cobertura de cada estadio. También, se evaluaron los individuos regenerados y los nuevos propágulos (Ang & De Wreede, 1990), según las características descritas por Foster *et al.*, (2007).

Tabla 2. Clasificación de los diferentes estados de desarrollo de *Sargassum horridum*. Las categorías fueron modificadas de las propuestas para las especies de *Sargassum* del Golfo de California (Nuñez & Casas, 1996).

Categoría	Descripción
Plántula	Talo menor a 10 cm de altura, es el primer estado de desarrollo de la macroalga, frágiles, con pocos filoides y sin aerocistos. No presentan epibiontes de ningún tipo.
Juvenil	Talo mayor a 10 cm de altura, presencia de filoides, puede tener frondas secundarias, no presenta aerocistos. Talo firme, coloración brillante y clara. Se empiezan a observar epibiontes.
Joven	Talo más desarrollado, presencia de ramas principales y secundarias, robusto, talo firmes más oscuro y brillante, presencia de aerocistos, abundantes filoides, pueden tener gran talla (> 2 m de altura), se puede observar la formación de estructuras reproductivas. Abundante presencia de epibiontes.
Maduro	Talo firme y correoso, robusto, con ramas principales y secundarias desarrolladas, principalmente se reconoce por el desarrollo completo de las estructuras reproductivas, coloración oscura y mate. Presencia de abundantes epibiontes. Talla variable.
Senescente	Talo firme a suave, pérdida gradual de foliolos y demás estructuras. Hasta quedar un vestigio del talo de la macroalga, sin estructuras y cubiertos de abundantes epífitos.

Posteriormente, el material vegetal categorizado fue secado al sol a temperatura ambiente (30-40°C) durante 48 horas, pesado en una balanza analítica de precisión para determinar el peso seco (Camacho & Hernández, 2012).

3.3.2 Análisis de composición química elemental de *S. horridum*

Las algas secas y clasificadas por estadios de desarrollo del talo, se pulverizaron con ayuda de un equipo Nutrimix con aspas de acero inoxidable, para evitar la contaminación de la muestra. Se colocaron en bolsas resellables, almacenadas en oscuridad y con aireación, preservándose hasta que se realizaron los análisis químicos. Para dar validez estadística los análisis químicos fueron realizados por triplicado (Novoa *et al.*, 2001; Yabur *et al.*, 2007; Echavarría *et al.*, 2009; Camacho & Hernández, 2012).

Las muestras fueron enviadas a la Universidad de Guadalajara, al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) para análisis de química elemental de los siguientes elementos: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Sodio (Na), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn) y Hierro (Fe), usando espectrofotometría de absorción atómica, la cual permitió un análisis a los más bajos niveles de detección (Mohammadi *et al.*, 2013; Balboa *et al.*, 2015).

3.3.3 Comunidad asociada

Las muestras colectadas en campo fueron lavadas y tamizadas, para su clasificación taxonómica. Bajo el microscopio y estereoscopio de los Laboratorios de Macroalgas y Plancton del CICIMAR. Se llevaron a cabo los respectivos conteos de los organismos clasificados. Todos los individuos colectados durante los monitoreos fueron identificados hasta el menor nivel taxonómico posible, siguiendo las claves respectivas para cada grupo acompañante.(Abbott & Hollenberg, 1992; Mateo *et al.*, 1993; Espinoza, 1993; Rigby *et al.*, 2007; Jobe & Brooks, 2009; León *et al.*, 2009; Coan *et al.*, 2012; Méndez, 2013). Para la validez

de los nombres se revisaron las bases de datos actualizadas en línea (Froese & Pauly, 2017; Guiry & Guiry, 2017; ITIS, 2017; WoRMS, 2017) y para las especies de la comunidad íctica se realizó una revisión bibliográfica para determinar sus hábitos tróficos (Humann & Deloach, 2004; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007; Suárez *et al.*, 2013a; Froese & Pauly, 2017).

3.4 Etapa de análisis

Se realizó análisis descriptivo de todos los grupos de datos monitoreados, variables ambientales, población de *S. horridum*, comunidad íctica, invertebrados modulares y macroalgas, determinando los principales cambios durante el ciclo de muestreo. Las variables ambientales fueron comparadas con los datos históricos de la bahía de La Paz, B.C.S, la variación temporal y espacial de la estructura de la población fueron sometidos a la prueba estadística ANOVA ($P < 0.05$), verificando previamente los supuestos de normalidad (homogeneidad y homocedasticidad), para determinar las diferencias significativas presentes entre ellas. Para analizar las diferencias significativas entre las medias respectivas se aplicó una prueba de Tukey de ser necesario ($P < 0.05$) (Rodríguez *et al.*, 2008).

Para analizar la cobertura general de la pradera los datos fueron estandarizados a 10 m^2 , sumando los resultados de cada cuadrante y estandarizándolos al área total de muestreo en cada mes; a su vez, los tipos de cobertura fueron categorizados en diferentes grupos, para realizar los análisis respectivos, teniendo en cuenta el modelo de dominancia relativa (Littler & Littler, 1985).

Las diferentes comunidades asociadas fueron comparadas a través de la riqueza, abundancia, composición, diversidad, uniformidad y dominancia, usando pruebas de similaridad, para determinar los cambios de la comunidad en el tiempo. Dichos análisis fueron realizados con paquetes estadísticos como STATISTICA 10®

StatSoft Inc y RWizard® 2017 (Pacheco *et al.*, 2003; Águila *et al.*, 2005; Beas & Ladah, 2014).

La relación entre los parámetros fisicoquímicos y la estructura de la población se determinó a través de un análisis de correlación y dispersión (ACP-MDS), para evidenciar el efecto de las variables ambientales sobre los parámetros poblacionales del alga. Para examinar la relación existente entre la diversidad de especies y la estructura poblacional de *Sargassum horridum* (Beas & Ladah, 2014), se realizó un análisis de regresión multilineal (P: 0.05) y análisis de discriminantes (Clarke & Warwick, 2001).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Parámetros ambientales

Durante el periodo del monitoreo se evaluaron parámetros *in situ* y concentración de nutrientes en la columna de agua; al realizar una comparación de los parámetros *in situ* y nutrientes en la bahía de la Paz, no se encontraron valores por fuera de rango (Figura 7 a 11). Tampoco se encontró algún patrón o comportamiento diferente a lo registrado para el área y sistemas cercanos. Sin embargo, dicha comparación no se pudo realizar para todas las variables, ya que algunas de estas fueron tomadas por primera vez para la pradera (Broecker, 1974; Obeso *et al.*, 2008; Suárez, 2008; Méndez, 2013; Suárez *et al.*, 2013a; Di Filippo, 2014; Verdugo *et al.*, 2014; Chávez, 2017).

4.1.1 Temperatura

La temperatura del agua de la pradera a lo largo del año mostró valores similares a los registrados por otros autores y se encuentra dentro del rango de variación propuesto para la bahía de la Paz, tanto en su variación circadiana como estacional (Obeso *et al.*, 2008; Suárez, 2008; Méndez, 2013; Di Filippo, 2014; Verdugo *et al.*, 2014).

Se obtuvo un total de 8,684 mediciones en el agua circundante de la pradera de *S. horridum*, a través del sensor HOBO. La temperatura promedio fue de $25.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3.1$, el valor máximo se registró para el día 2 de abril del 2016 con $37.05\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que las menores temperaturas del año fueron registradas para los días 28 y 29 de enero del 2017 con $18.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. El rango de la temperatura estuvo comprendido por una variación de $18.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el año.

Las variaciones de temperatura más grandes dentro de un mes ocurrieron durante marzo, abril, junio y noviembre; mostrando cambios hasta de dos grados

centígrados. En octubre se presentó la menor variación con un cambio de 0.63 °C durante todo el mes, siendo este el más estable (Figura 7). Al realizar una comparación de las medias obtenidas en cada mes, se encontraron diferencias significativas entre los meses del año (ANOVA, $F_{(11,8683)}=4373$, $p<0.005$) y solamente los meses que no presentaron estas diferencias entre ellos fueron marzo y julio.

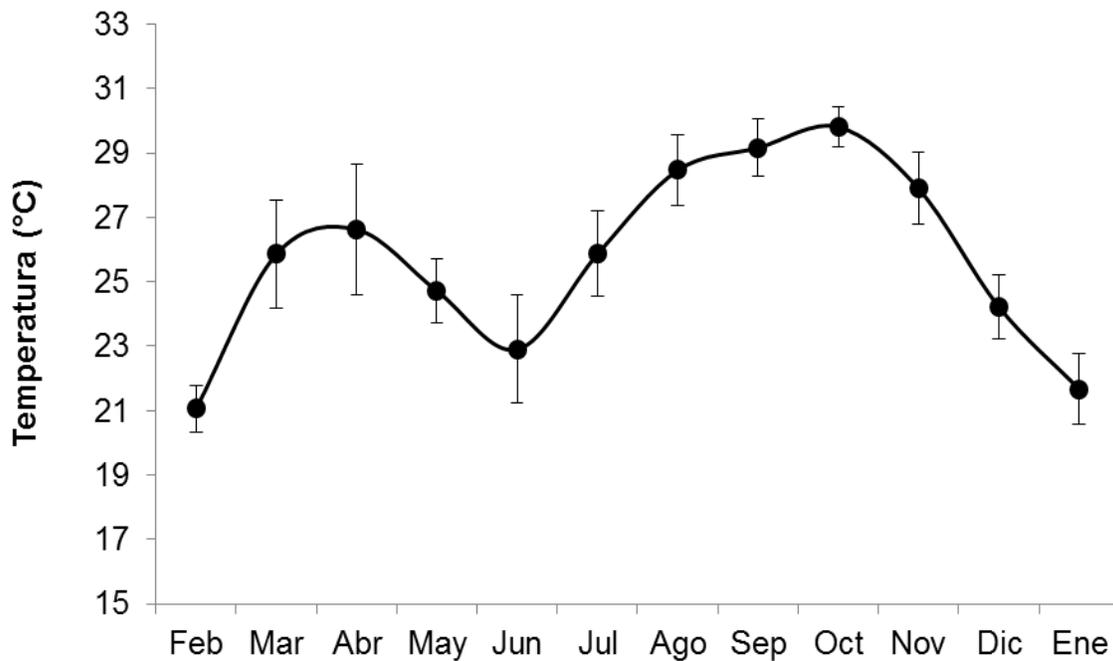


Figura 7. Temperatura promedio mensual del agua circundante de la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso, registrada durante febrero 2016 a enero de 2017. El ● indica la media para cada mes y las I la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.

4.1.2 Variables *in situ* y nutrientes

4.1.2.1 Oxígeno disuelto (OD)

La concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua varió significativamente a lo largo del año (ANOVA, $F_{(10,32)}=7.306$, $p<0.005$), presentando un valor promedio de 11.88 mg/L \pm 2.21. El valor mínimo promedio se registró en junio, con una concentración de 7.88 mg/L, mientras que el mayor valor

promedio fue en enero, con 15.76 mg/L. Los valores más altos se encuentran asociados a los meses con bajas temperaturas (febrero-diciembre-enero), mientras que los más bajos fueron para mayo y junio correspondiente con los meses de primavera y verano (Figura 8). Esto se debe a que las altas temperaturas influyen en la disolución de este gas en el medio acuático, presentándose una correlación inversa entre dichas variables (Verdugo *et al.*, 2014). Sin embargo, los niveles de oxígeno durante todo el año muestran un agua oxigenada, dado que la zona de estudio no presenta una profundidad mayor a 8 metros (marea más alta), el movimiento de los vientos, corrientes sobre la superficie del agua y el pequeño oleaje que se produce en la zona, mantienen la columna con OD moderado y no estratificado (Pilson & Island, 2013), por lo que no representa un factor limitante para las algas.

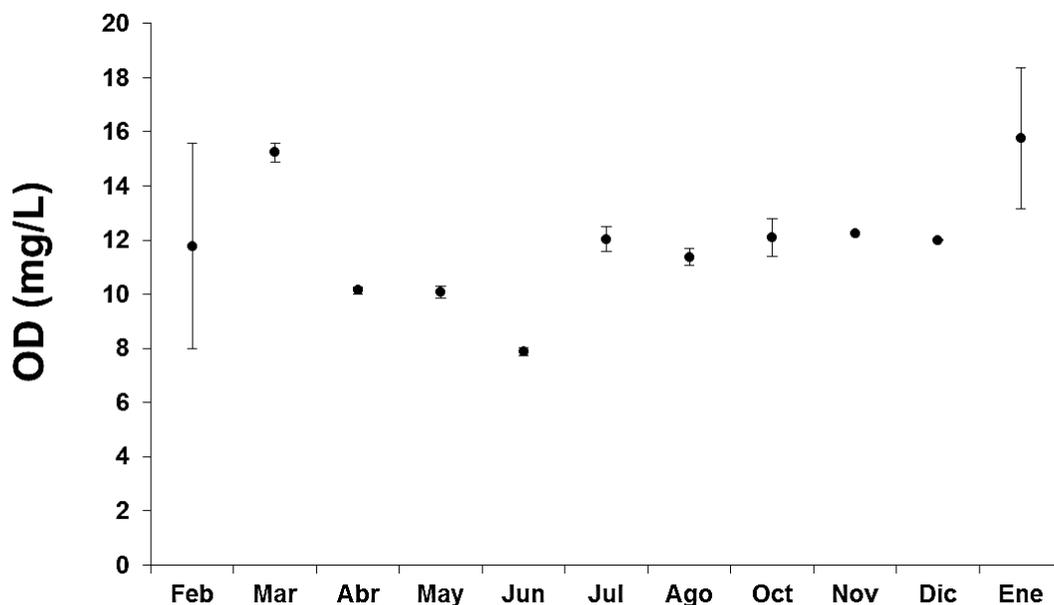


Figura 8. Concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua durante el monitoreo de la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso. El ● indica la media para cada mes y las I la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.

4.1.2.2 pH

Los valores de pH para la Boca del Sauzoso durante todo el año fueron ligeramente básicos, con un valor promedio de 8.63 ± 0.42 . El mayor valor

promedio puntual (9.24) se registró para el mes de julio, mientras que el menor fue 7.88 en mayo (Figura 9). A lo largo del año se encontraron diferencias significativas en los valores de pH, sin embargo, no se observa un patrón durante el periodo de monitoreo (ANOVA, $F_{(10,32)}=46.44$, $p<0.005$). Las variaciones observadas están dadas principalmente por los cambios en las concentraciones de sales en el medio, la hora del día, temperatura del agua y movimiento de la masa de agua. Las cuales afectan la disponibilidad de algunos elementos químicos presentes en la columna de agua para las macroalgas (Pilson & Island, 2013). Para poder determinar dichos cambios es necesario realizar un mayor número de mediciones y con una mayor frecuencia temporal.

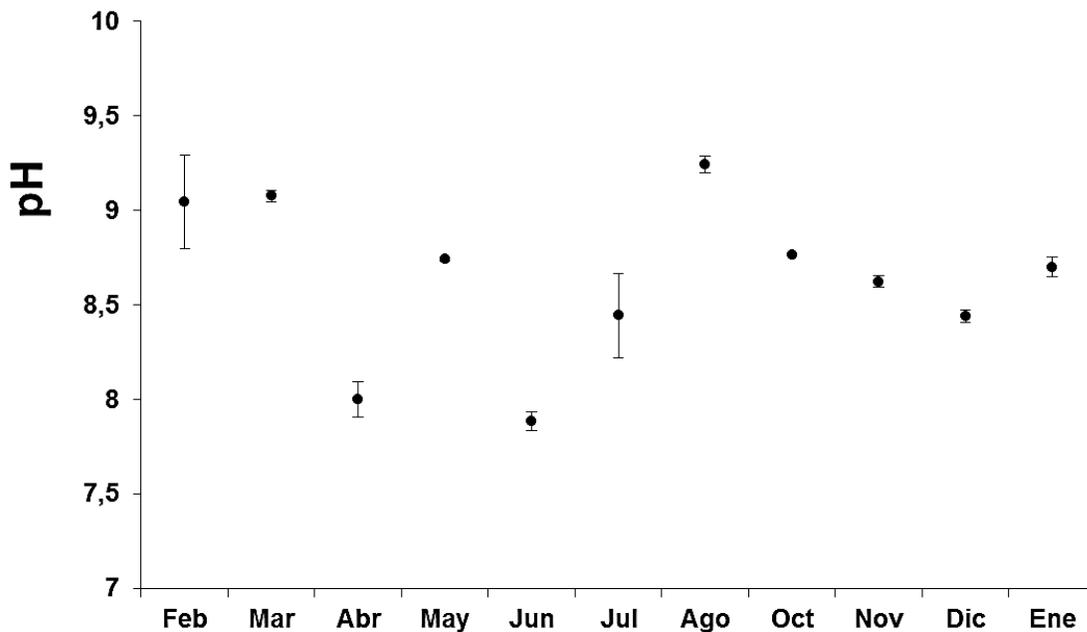


Figura 9. Valores de pH durante el monitoreo de la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso. El ● indica la media para cada mes y las I la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.

4.1.2.3 Salinidad

La salinidad muestra valores similares a lo largo del año, pero se observa un aumento en su valor en enero de 2017, cuando la temperatura empieza a

descender y se da un aporte por aguas de surgencia en la bahía (Verdugo *et al.*, 2014). El valor promedio para la salinidad fue 35.4 ± 0.56 , donde el promedio máximo fue 36.33 para el mes de enero del 2017 y el menor promedio para mayo del 2016 (Figura 10). Las pruebas de comparación de medias durante los meses de muestreo (ANOVA, $F_{(10,32)}=55.75$, $p<0.005$), mostraron diferencias significativas entre meses. Se forman dos grupos a lo largo del año, de febrero a junio donde los grupos muestran medias por debajo del valor promedio, mientras que de julio a enero hay valores ligeramente mayores.

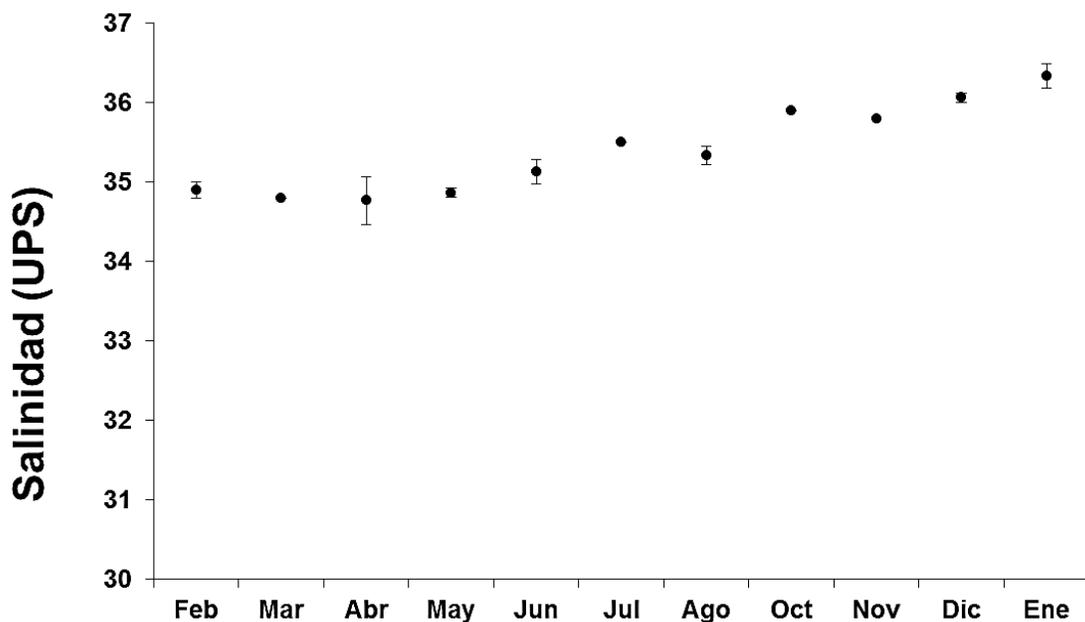


Figura 10. Salinidad del agua de mar registrada durante el monitoreo de la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso. El ● indica la media para cada mes y las I la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.

4.1.2.4 Sólidos disueltos totales (SDT)

Los STD mostraron valores y comportamientos similares a la salinidad, por presentar una correlación lineal entre ellos, donde los STD son dependientes de la cantidad de sales que se encuentran disueltas en el medio (Broecker, 1974; Pilson & Island, 2013). La comparación entre meses indica que hay diferencias significativas a lo largo del año (ANOVA, $F_{(10,32)}=101.3$, $p<0.005$), evidenciándose los mismos grupos que se forman con la salinidad. El valor promedio fue 34.92 g/L

± 0.51 , mayo presentó el menor valor promedio (34.4 g/L) y enero el mayor con 35.7 g/L (Figura 11). El registro histórico de la pradera no muestra análisis de STD, esta es la primera vez que se tiene en cuenta esta variable para el análisis de la pradera de *S. horridum*.

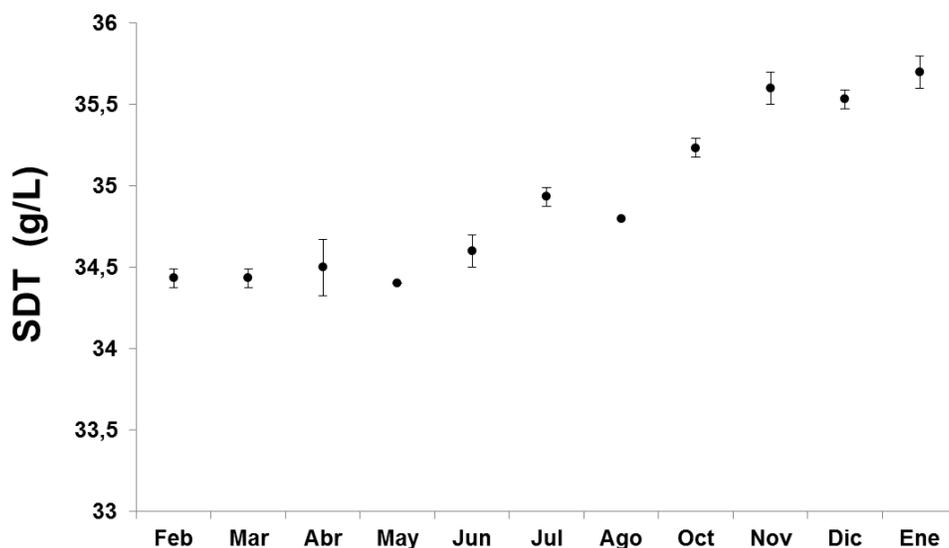


Figura 11. Sólidos disueltos totales registrados durante el monitoreo de la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso. El ● indica la media para cada mes y las \pm la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.

4.1.2.5 Nitratos, nitritos y amonio

La concentración de nutrientes en el medio marino fue relativamente baja, por ser un sistema oligotrófico. Los aportes de nutrientes están dados por procesos de surgencia y en algunos casos, cuando se registran fuertes lluvias en el área, se puede generar un aporte mínimo por aguas continentales (Verdugo *et al.*, 2014).

Las formas de nitrógeno inorgánico analizadas fueron nitratos, nitritos y amonio, donde la mayor variación de estos ocurrió en mayo, junio y julio; hacia finales de primavera y comienzo de verano, cuando la temperatura del agua comienza a subir (Figura 12).

Los nitritos (NO_2), mostraron una concentración constante a lo largo del año con valores de $0.1 \mu\text{M}$, lo cual no permite determinar si hay algún tipo de variación en

el tiempo. Es necesario que el valor reportado por el laboratorio no esté sujeto a los límites de lectura ya que esto impide detectar estas minúsculas variaciones de este nutriente.

Los nitratos (NO_3), presentaron una concentración promedio de $0.793 \mu\text{M} \pm 1.52$, con el menor valor en julio y agosto ($0.1 \mu\text{M}$) y el mayor en junio, con $4.24 \mu\text{M}$. El amonio (NH_4) es una de las formas más comunes y abundantes de encontrar el nitrógeno inorgánico en el medio. El valor promedio de la concentración de amonio fue de $0.95 \mu\text{M} \pm 0.83$. Los mayores valores fueron en junio y julio con 1.57 y $2.61 \mu\text{M}$, respectivamente, mostrando una diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto a los demás meses de muestreo donde el valor promedio fue de $0.5 \mu\text{M}$.

En el análisis de correlación de múltiples cuadrados entre las variables fisicoquímicas, no se incluyó la concentración de nutrientes, ya que los valores de nitritos no varían en todo el periodo de muestreo. Sin embargo, para las variables *in situ* se encontró que la salinidad y los sólidos disueltos totales presentan una correlación positiva y con un coeficiente cercano a uno (0.95). Esto sugiere que al haber mayor presencia de sales disueltas en el agua, aumenta la cantidad de iones disueltos en el agua, incrementándose los sólidos totales disueltos (STD), existiendo una relación cercana y lineal entre estas dos variables (Pilson & Island, 2013) (Figura 13).

Para las demás variables se presentan correlaciones significativas con un menor coeficiente de correlación. El pH solamente se correlaciona positivamente con el OD (0.55), ya que al haber una mayor cantidad de O_2 disuelto hay una mayor posibilidad de formarse grupos hidroxilo que alteran el valor final de pH. La temperatura se correlaciona con la salinidad de forma positiva (0.45) y finalmente el OD se correlaciona positivamente con la salinidad, STD y pH.

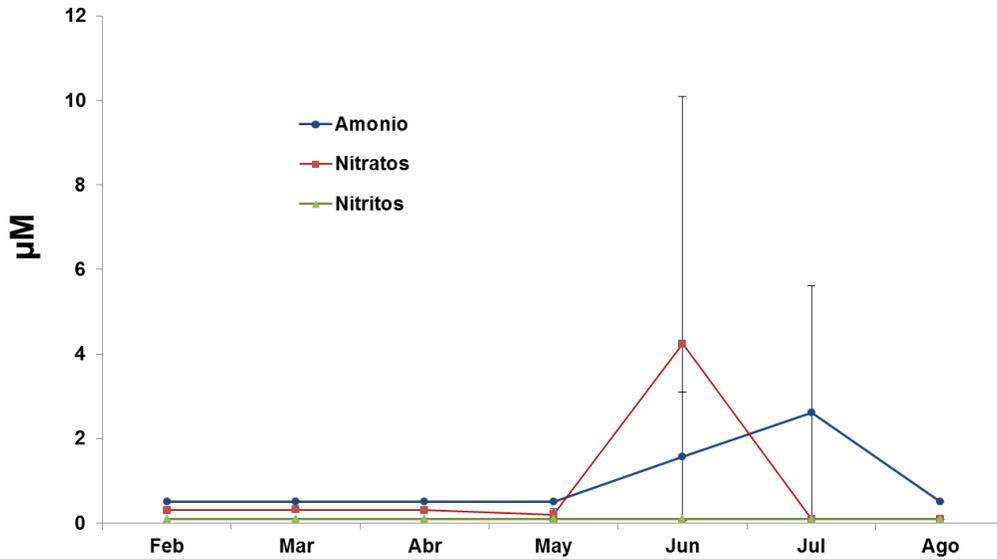


Figura 12. Concentración de nutrientes (nitritos, nitratos, amonio) presentes en el agua, durante el monitoreo de la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso, de febrero a agosto del 2016. El ● indica la media para cada mes y las I la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.

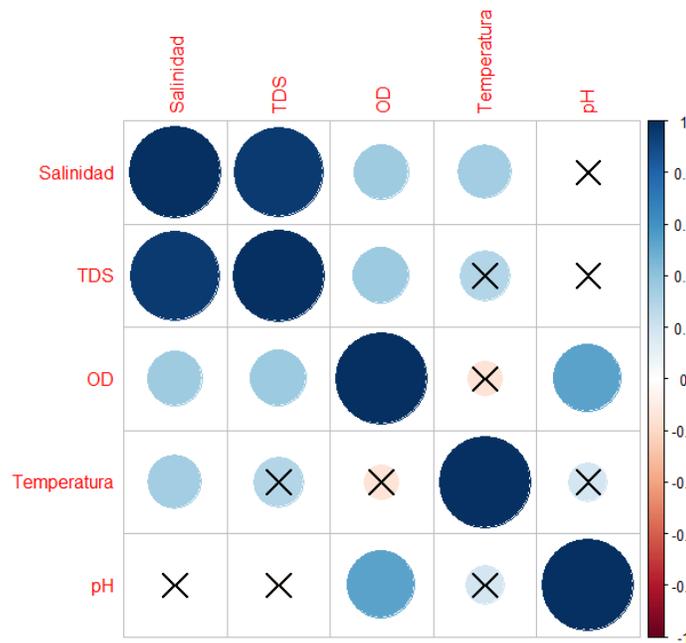


Figura 13. Correlaciones múltiples para las variables *in situ*, en la pradera de *S. horridum*, en Boca del Sauzoso, de febrero 2016 a enero 2017. Las X indican que no hay una correlación significativa, el tamaño del círculo muestra el nivel de la correlación y el color si la correlación es negativa o positiva, según la escala.

4.2 Cobertura de la pradera de Boca del Sauzoso

La pradera submareal de macroalgas presente en Boca del Sauzoso, tiene a *S. horridum* como especie dominante, con alta tasa de crecimiento, grandes coberturas, formadora de dosel, que reestructura las condiciones físicas y químicas del ambiente, regulando las comunidades asociadas durante su desarrollo (Méndez, 2013; Suárez *et al.*, 2013b).

La cobertura estuvo definida como la proyección de los organismos sésiles y modulares que se encontraron sobre el sustrato. Se registraron un total de 41 especies, pertenecientes a los grupos de los cnidarios, macroalgas y poríferos; dos tipos correspondieron a sustrato libre, clasificados en sustrato rocoso y arenoso (Tabla 3).

Al ajustar los datos al modelo de dominancia relativa de sistemas litorales, se generaron seis categorías: algas coralinas, corales, esponjas, algas frondosas grandes, algas frondosas pequeñas y sustrato libre. Este modelo toma dos variables importantes, que son la disponibilidad de nutrientes y los disturbios físicos, entendiendo a este último como cualquier proceso que genera reducción de la biomasa, como aumento en la temperatura, herbivoría, competencia, entre otros (Littler & Littler, 1985).

La cobertura general de la pradera a lo largo del año se caracterizó por la dominancia de macroalgas y sustrato libre, mientras que las categorías con menores coberturas fueron para los animales modulares (Tabla 4) (Figura 14), las macroalgas registradas son comunes para los sistemas litorales del Golfo de California (Littler & Littler, 1981; Fajardo, 1994).

Tabla 3. Cobertura general de la pradera de *S. horridum* presente en Boca del Sauzoso, se muestra el tipo de cobertura y el grupo de dominancia del ecosistema al que pertenece cada especie o tipo evaluado.

Tipo Cobertura	Grupos dominancia	Especie-Tipo
Coral	Coral	<i>Pocillopora</i> cf. <i>damicornis</i>
		<i>Eugorgia</i> sp.
		<i>Pacifigorgia</i> sp.
		<i>Porites panamensis</i> (columnar masivo-café)
		<i>Porites panamensis</i> (masivo-verde)
Esponjas	Esponjas	<i>Palythoa</i> sp.
		Porífero sp.1
		Porífero sp.2
		Porífero sp.3
		Porífero sp.4
		Porífero sp.5
Macroalgas	Algas coralinas	Porífero sp.6
		<i>Amphiroa</i> spp.
		<i>Jania</i> spp.
		<i>Galaxaura rugosa</i>
		<i>Lithophyllum</i>
	Grandes frondosas	Corallinaceae sp.1
		<i>Lithothamnion</i>
		<i>Neogoniolithon</i>
		<i>Asparagopsis taxiformis</i>
		<i>Padina</i> spp.
Pequeñas frondosas		<i>Spyridia filamentosa</i>
		<i>Hydroclathrus clathrathrus</i>
		<i>Acanthophora specifera</i>
		<i>Gracilaria spinigera</i>
		<i>Sarcodiotheca</i> sp.
		<i>Laurencia</i> spp.
		<i>Sargassum horridum</i>
		Feofita filamentosa sp.1
		Tapete algal (cianofitas-feofitas-rodofitas)
		<i>Caulerpa sertulariodes</i>
<i>Enteromorpha</i> spp.		
<i>Colpomenia sinuosa</i>		
<i>Dictyota dichotoma</i>		
<i>Dictyota flabellata</i>		
<i>Gracilaria pachydermatica</i>		
<i>Chondria</i> sp.		
<i>Codium cuneatum</i>		
<i>Digenea simplex</i>		
<i>Gelidium</i> spp.		
<i>Liagora californica</i>		
Arena	Sustrato libre	Arena
Roca		Roca

Tabla 4. Cobertura promedio total de la pradera de macroalgas en el Boca del Sauzoso, teniendo en cuenta el modelo de dominancia del ecosistema.

Cobertura anual promedio (%) de la pradera por m ²		
Especie-ítem	Promedio	Desviación estándar
Sustrato libre	31.09	12.45
Algas frondosas grandes	29.34	14.91
Algas coralinas	16.37	7.01
Algas frondosas pequeñas	9.99	6.99
Coral	8.08	1.79
Esponjas	5.13	1.88

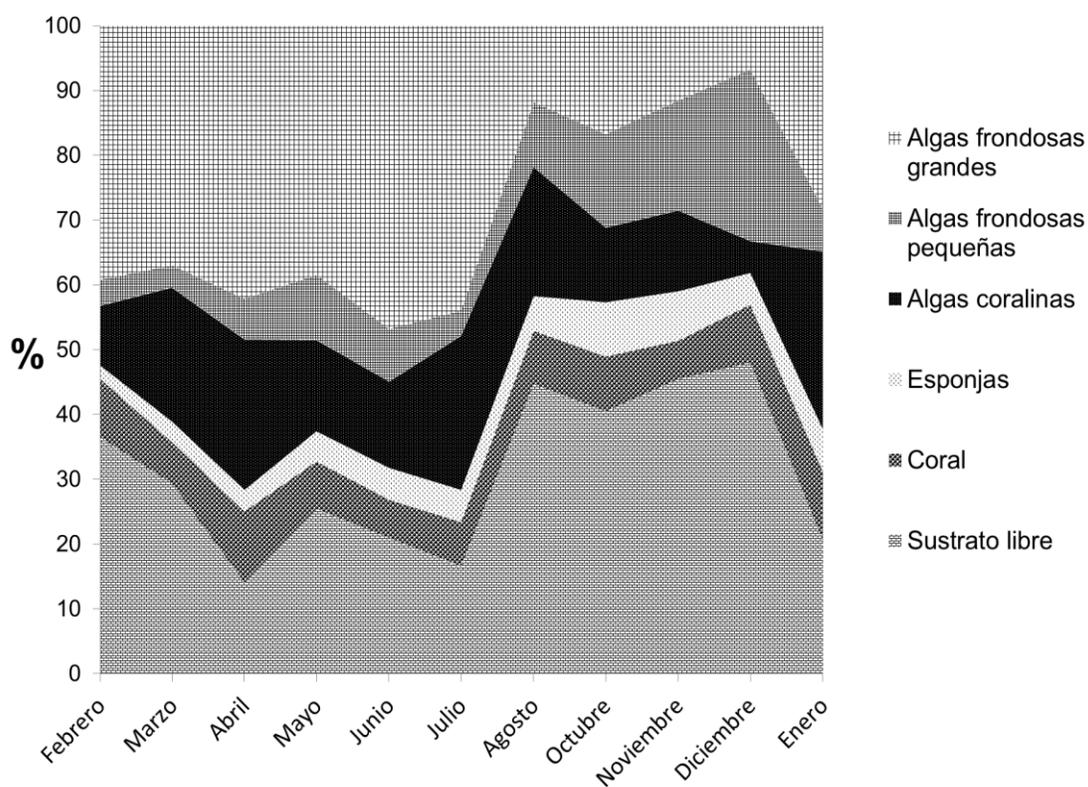


Figura 14. Cobertura mensual (%) de las diferentes categorías del modelo de dominancia para la pradera de macroalgas de Boca del Sauzoso, durante febrero de 2016 y enero 2017.

Las principales variaciones en la cobertura de la pradera, están dadas por las macroalgas (frondosas grandes y pequeñas), las cuales influyen hasta en un 50% sobre la pradera a lo largo del año, estando representadas por *Asparagopsis taxiformis*, *Padina* spp., *Spyridia filamentosa*, *Hydroclathrus clathrathrus*, *Acanthophora specifera*, *Gracilaria spinigera*, *Sarcodiotheca* sp., *Laurencia* spp. y *Sargassum horridum*, donde la última es la especie dominante en el ecosistema (Suárez *et al.*, 2013b).

Durante los primeros meses del año, a medida que aumenta la cobertura de las algas frondosas grandes disminuye el sustrato libre, mientras que a final del año se observa el efecto contrario, ya que al disminuir drásticamente la cobertura de *S. horridum* es mayor el sustrato disponible para otras especies.

La cobertura de los animales modulares como los corales, estuvo representada por cinco especies que se mantienen a lo largo de la año de manera estable (*Pocillopora* cf. *damicornis*, *Eugorgia* sp., *Pacifigorgia* sp., *Porites panamensis* y *Palythoa* sp.). Debido a su lento crecimiento y condiciones ecológicas del lugar no hay una dominancia por parte de estas especies. También se debe tener en cuenta que, durante este estudio, para la cobertura de los corales no se documentó si era un organismo vivo, enfermo o muerto (Marquez & Diaz, 2005).

Por su parte, las esponjas mantienen su cobertura a principio del año, pero durante los meses de agosto a diciembre registran un aumento, ya que cubren los talos en latencia de *S. horridum* y el sustrato ahora disponible. Se determinaron seis morfo-especies, las cuales se clasificaron teniendo en cuenta su morfología, coloración y composición espicular (Ortiz, 2012).

Las algas coralinas, incluyen dos morfotipos dentro de la clasificación: las costrosas y erectas; donde las primeras presentan lentas tasas de crecimiento y poca variación en el año (cf. *Lithophyllum*, Corallinaceae sp.1, cf. *Lithothamnion* y cf. *Neogoniolithon*), mientras que las erectas o ramificadas son las que muestran

las variaciones del grupo (*Amphiroa* spp., *Jania* spp. y *Galaxaura rugosa*), a lo largo del año, con tasas de crecimiento más rápidas.

La cobertura dominante durante la primera parte del año fue por parte de las algas frondosas grandes, donde la más representativa es *Sargassum horridum*, una macroalga frondosa formadora de dosel, con tallas hasta de 2.8 m. Para ver de una manera más clara los cambios en la pradera a lo largo del año, agrupamos los meses en los diferentes estados de desarrollo de la pradera de *S. horridum*, por ser la especie dominante (Figura 15). Estos estados de desarrollo se clasificaron según las condiciones poblacionales de la especie (numeral 4.3).

Las variaciones son menores entre los grupos, observándose una clara tendencia a lo largo del año, las grandes frondosas son dominantes durante la primera y segunda generación, presentando una mayor cobertura durante la segunda época; mientras que a final del año su cobertura es similar a las otras especies de macroalgas.

Las esponjas presentaron un pequeño aumento en su cobertura durante los procesos de senescencia y latencia, por la desaparición de *S. horridum*, el aumento de la disponibilidad de sustrato y también aumentan como epibiontes de los talos remanentes de las macroalgas. Por su parte, la comunidad coralina evaluada muestra una reducción en su cobertura al pasar a la segunda generación, debido al aumento de la cobertura de *S. horridum* y la formación de dosel que cubre la mayoría de las superficies de la pradera, afectando la disponibilidad de luz sobre estos y dificultando la observación de algunos individuos bentónicos (Ortiz, 2012).

Las algas coralinas muestran una reducción en la cobertura a final de año, dado a que la estructura del litoral rocoso se vio afectada por un huracán categoría uno (Newton), cambiando el sustrato de posición, afectando el desarrollo de estas;

además, se ven afectadas cuando la pradera presenta la mayor cobertura de *S. horridum* durante la segunda generación, al igual que los corales.

Las macroalgas agrupadas en pequeñas frondosas presentan variaciones a lo largo del año, ya que las especies cambian. Durante el periodo de latencia, se observó la mayor cobertura, ya que el aumento de filamentosas y tapetes algales en la pradera es notorio, llegando a ser las especies dominantes en esta época del año, cuando la temperatura del agua es más alta.

En los lugares con baja rugosidad o alto disturbio por olas, se reduce la actividad por herbivoría, permitiendo el aumento de grandes macroalgas como *Sargassum*. En el caso de la pradera de Boca del Sauzoso, los principales cambios están dados por el aumento de la temperatura superficial del mar, lo cual conduce a la senescencia de la mayoría de las macroalgas de la pradera (Littler & Littler, 1985; Muñetón & Hernandez, 1993). Siendo este, el principal factor físico que cambia la dominancia de la pradera.

La pradera sostiene al número de herbívoros y omnívoros, sin que estos lleguen a agotar el recurso. *S. horridum*, para poder alcanzar dichas coberturas (>26%) y tallas (210 cm) y ser la especie dominante, debe presentar defensas químicas que disminuyan su palatabilidad permitiendo desarrollarse y dominar el ecosistema (Steinberg, 1992; Erickson *et al.*, 2006; Amsler, 2008), ya que en el área, la rugosidad es moderada y no hay un alto disturbio en la columna del agua, además del generado por las mareas diarias y las periódicas tormentas tropicales durante los meses de septiembre y octubre (Barjau, 2012; Barjau *et al.*, 2016).

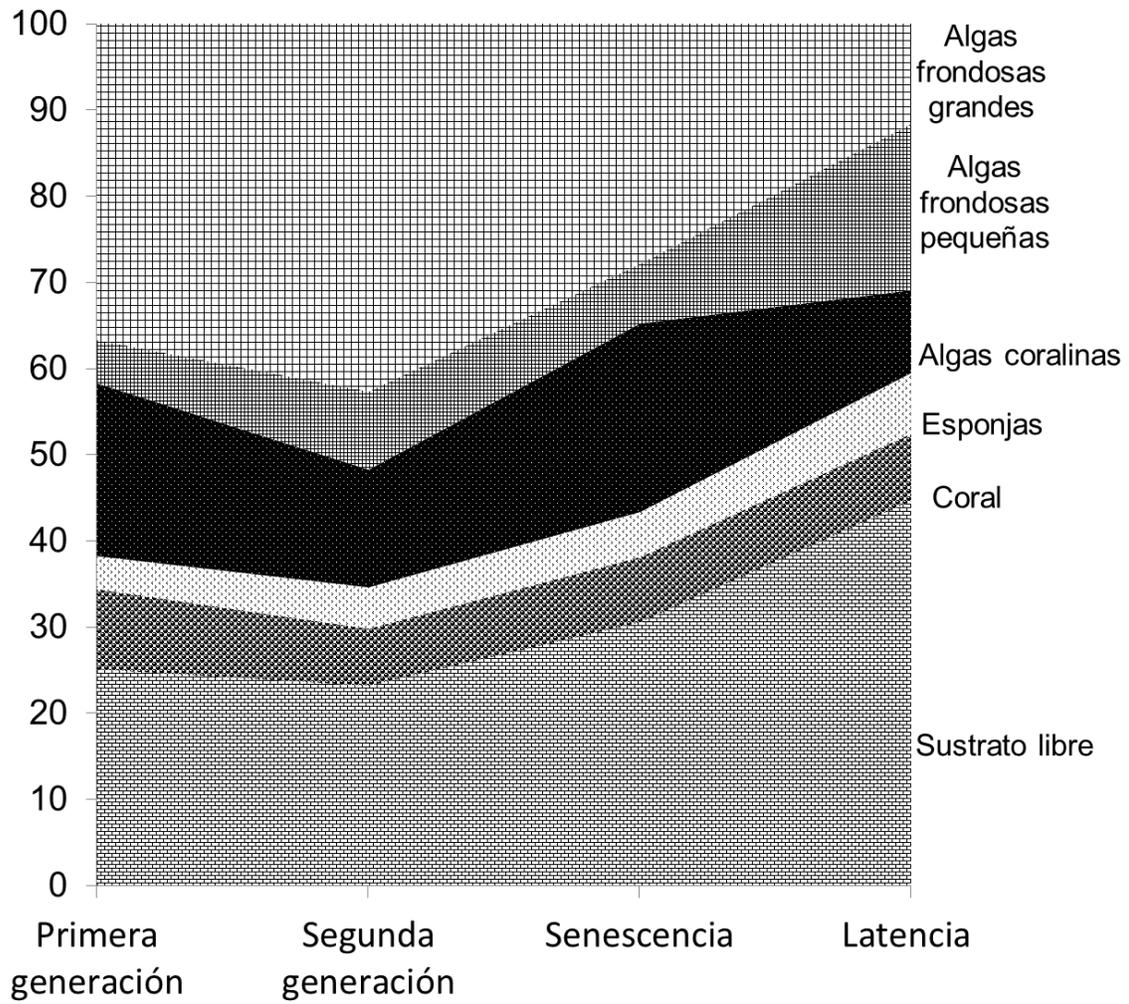


Figura 15. Cobertura general promedio (%) de las especies de Boca del Sauzoso, agrupados en los diferentes estadios de desarrollo de la pradera para *S. horridum*.

4.3 Estructura poblacional de *S. horridum*

4.3.1 Cobertura y talla de *S. horridum*

La abundancia de *S. horridum* fue evaluada a través de su cobertura estandarizando los datos a 10 m², se usaron los promedios respectivos de cada cuadrante. La cobertura promedio mensual de *S. horridum* presentó diferencias a lo largo del año (ANOVA. $F_{(10,99)}:9.583$, $p<0.05$), durante los primeros meses del año (febrero a julio y enero) la cobertura es significativamente mayor que para los meses de agosto a diciembre (Figura 16).

Las principales diferencias entre los meses muestreados se presentan durante la presencia de *S. horridum* y su periodo de latencia, donde la cobertura desciende drásticamente. El valor promedio anual de cobertura por m² fue de 25.39% ± 13.23, con un valor mínimo para diciembre de 5% ± 5.85, mientras que el máximo fue 40.5% ± 13.01 para junio. La máxima variación se presentó en marzo, ya que se registraron cuadrantes con coberturas desde 0% hasta del 75%.

La cobertura presenta menor variación en los meses de abril, mayo y junio, considerando que es continua a través del sustrato; mientras que, para los demás meses del año, las mayores variaciones en la cobertura muestran una pradera con distribución agrupada (Fajardo, 1994).

Se determinaron dos grupos de cobertura significativamente diferente ($p<0.05$) de *S. horridum*, cuando está presente con individuos activos metabólicamente (enero-julio) y su etapa de latencia (agosto-diciembre) que permanecen hasta el siguiente ciclo anual. Durante la primera etapa de la pradera, en junio y julio presentaron diferencias significativas con respecto a los primeros meses, por presentar mayores coberturas promedio.

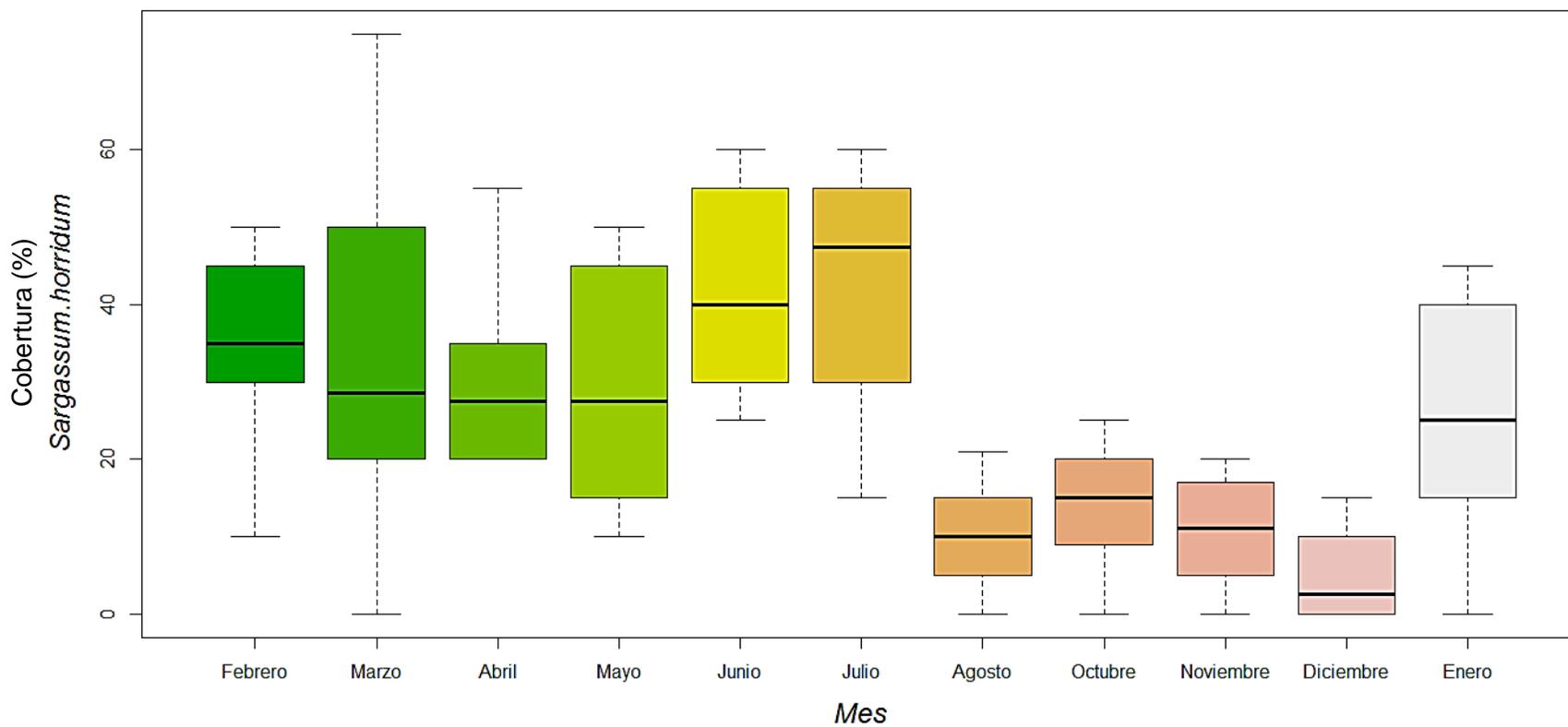


Figura 16. Cobertura promedio mensual (%) de *Sargassum horridum* en la pradera de Boca del Sauzoso, Bahía de La Paz. La – indica el valor de la media, las I punteadas los valores máximos y mínimos.

Sin embargo, estos grupos se pueden continuar diferenciando teniendo en cuenta la estructura poblacional de *S. horridum*, su estado de desarrollo y talla, razón por la cual se agruparon las coberturas de algunos meses en los estados de desarrollo de la pradera propuesto en el presente estudio.

Se determinó que hay diferencias significativas entre la cobertura de *S. horridum*, según el estado de desarrollo de la pradera (ANOVA. $F_{(3,106)}:14.07$, $p<0.05$). Durante el ciclo de desarrollo de *S. horridum*, la mayor cobertura promedio se registra en el periodo de segunda generación con $35\% \pm 14.60$, seguido de la primera generación con $31.8\% \pm 17.25$. Cuando la pradera comienza su proceso de senescencia la cobertura disminuye hasta un valor promedio de $17.62\% \pm 22.2$, para permanecer latente hasta el próximo ciclo con una cobertura mínima del $7.5\% \pm 7.07$ (Figura 17).

En las pruebas *pos hoc*, el análisis de Tukey muestra que todos los grupos presentan diferencias significativas dentro de ellos, con excepción de la primera y segunda generación. Debido a, que en estas etapas se presentan variaciones de la cobertura, pasando de una mínima (enero) hasta la máxima durante este periodo (julio), no permitió indicar las diferencias significativas entre estos dos periodos de la pradera.

Las mayores variaciones en cobertura se dan en los periodos de la primera generación y senescencia, caracterizándose por ser agrupada la mayoría de los meses. Estas variaciones son menores durante la segunda generación, caracterizándose por tener una distribución continua a lo largo del litoral de Boca del Sauzoso. Los grupos propuestos para el desarrollo de la pradera muestran los cambios significativos que presenta la población de *S. horridum* a través del año en Boca del Sauzoso.

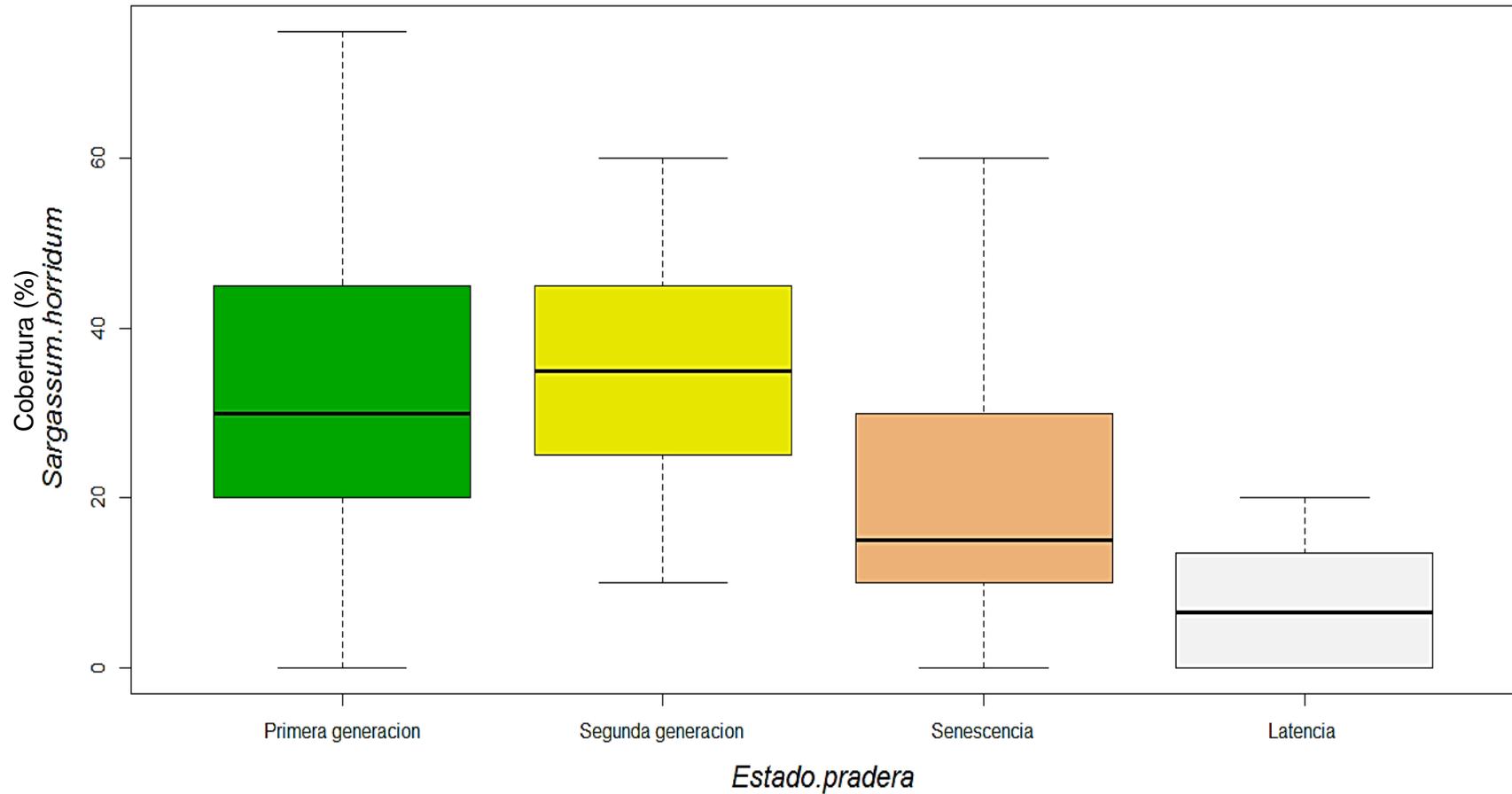


Figura 17. Cobertura (%) de *S. horridum* durante cada uno de los estados de la pradera, propuestos en el presente estudio, basados en el desarrollo de la macroalga dominante en Boca del Sauzoso. La – indica el valor de la media, las \perp punteadas los valores máximos y mínimos.

El área de la pradera fue determinada para los meses de febrero, junio, agosto y noviembre; cuando se observaron los cambios más grandes de la cobertura de la pradera de *S. horridum*, cada uno de estos meses fue ajustado a las épocas de desarrollo de la pradera (Figura 18).

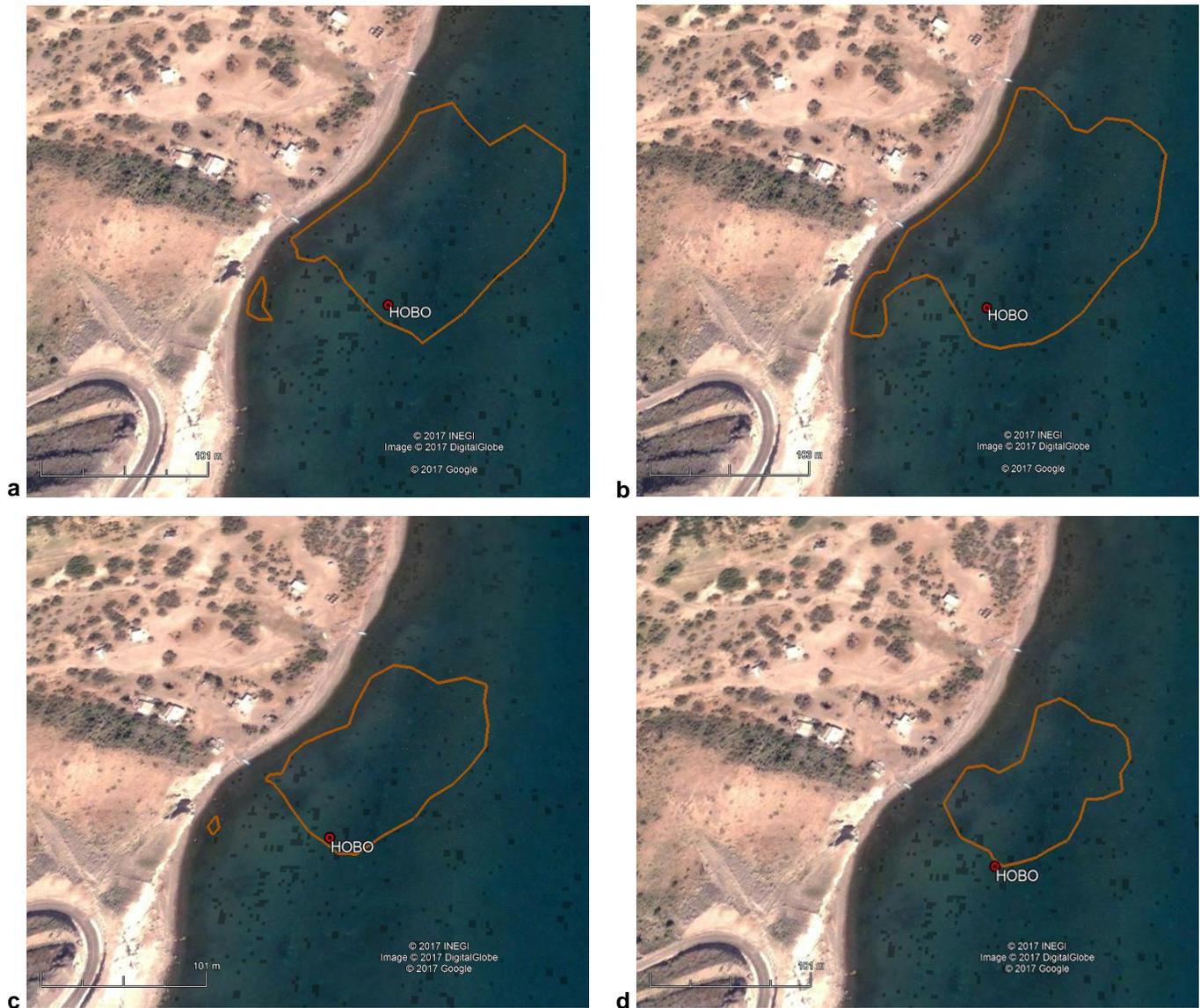


Figura 18. Delimitación de la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso durante febrero 2016 a enero 2017, para cada estado de desarrollo de la pradera. La — indica el perímetro de la pradera, ● indica la posición del sensor HOBO de temperatura. **a.** Primera generación (enero-abril). **b.** Segunda generación (mayo-junio). **c.** Senescencia (julio-septiembre). **d.** Latencia (octubre-diciembre).

Para cada medición se calculó el perímetro y área que ocupa la pradera de Boca del Sauzoso y se realizaron las estimaciones de cobertura de *S. horridum* en función del área de la pradera (Tabla 5). El área promedio de la pradera es 16,650 m² ± 5973, con un valor máximo de 23,860 m² y mínimo de 9,686 m².

Según las estimaciones, la mayor cobertura de *S. horridum* se registró durante la segunda generación con un valor de 8,351 m², seguido de la primera generación; meses en los que se podría realizar una cosecha del recurso, la cual dependerá del uso al que será sometido.

Tabla 5. Perímetro y área de la pradera de macroalgas en Boca del Sauzoso, con las respectivas estimaciones de cobertura para cada estado de desarrollo de la población de *S. horridum*.

Estado de la pradera	Pradera Boca del Sauzoso		Estimaciones macroalga dominante	
	Perímetro (m)	Área (m ²)	Cobertura promedio de <i>S. horridum</i> (%)	Cobertura promedio de <i>S. horridum</i> (m ²)
Primera generación	647	18336	31.8 ± 17.25	5830
Segunda generación	740	23860	35 ± 14.60	8351
Senescencia	530	14720	22.2 ± 17.62	3267
Latencia	424	9686	7.5 ± 7.07	726

La talla del talo de *S. horridum* fue calculada para la población, mostrando diferencias significativas a lo largo del año (ANOVA. F_(10,1619):19.06, p<0.05), la mayor talla se registró para marzo, para individuos jóvenes con 210 cm, seguido del mes de abril, con tallas de 120 cm para individuos maduros. Mientras que para los meses de noviembre y diciembre se registraron las menores tallas del talo, presentándose muy poca variación por encontrarse en el periodo de latencia (Figura 19).

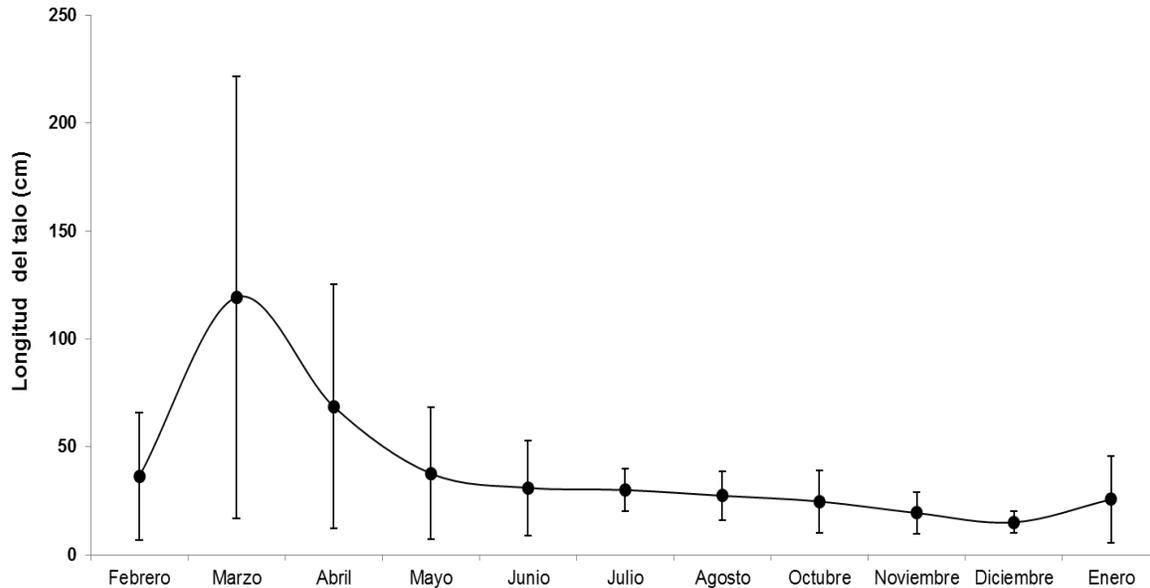


Figura 19. Talla promedio de los talos de *S. horridum* registrada para cada mes de muestreo en la pradera de Boca del Sauzoso. El ● indica la media para cada mes y las \pm la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.

La talla anual promedio fue de $39.4 \text{ cm} \pm 43.59$, encontrándose talos en diferentes estados de desarrollo como juvenil, joven, maduro y senescente. Los menores valores corresponden a las categorías de plántula (nuevos reclutas de la población) y latencia. Los meses de julio a diciembre, presentaron poca variación debido a que se cuenta con un solo estado de desarrollo del talo, como senescencia o latencia, mientras que el primer semestre es mucho más variable, ya que se encuentran individuos desde plántulas hasta maduros de gran tamaño (>1m).

Debido a estas variaciones de talla dentro de cada una de las edades del talo de *S. horridum*, la talla no es útil como característica clasificatoria de dichas categorías. Por ejemplo; se presentaron individuos maduros con tallas desde 30 cm a 120 cm, mientras que los individuos jóvenes presentaron un rango más amplio, que incluye las tallas de juveniles, maduros y senescentes, variando desde 25 cm hasta 210 cm.

Las variaciones en la talla solo discriminan la pradera en dos épocas a lo largo del año, el primer semestre donde hay grandes tallas y el segundo semestre con la menor talla y variación. Razón por la cual se promediaron los valores de talla, en las épocas de desarrollo propuestas en este trabajo (Figura 20).

La primera generación se caracteriza por presentar una cobertura moderada con las mayores tallas, observándose la mayor variación del año, la segunda generación con tallas medias (aprox. 1 m) presentó la mayor cobertura durante el año de monitoreo. Dicha variación se debe a los procesos de reclutamiento y senescencia que se dan durante este periodo, que incluyen individuos de todas las tallas.

La variación en la talla durante la senescencia disminuye ya que los procesos de crecimiento y desarrollo culminaron y comienza la degradación del talo. Finalmente, los talos latentes presentan tallas pequeñas y poca variación, siendo significativamente diferentes al resto del año.

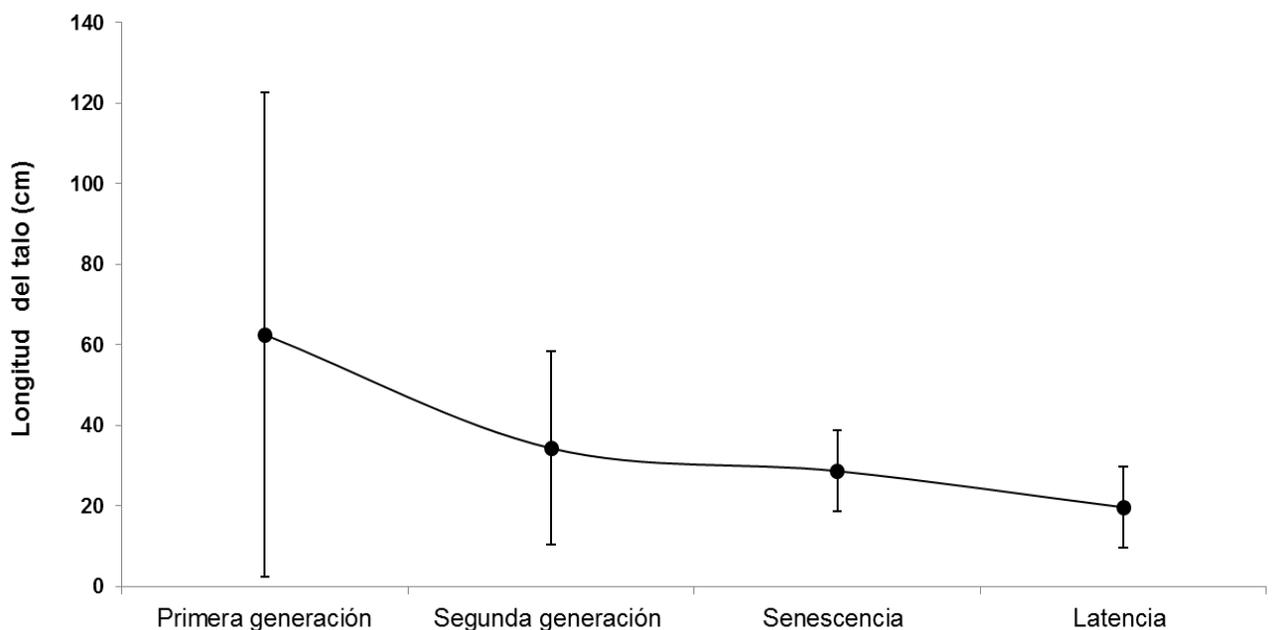


Figura 20. Talla promedio de los talos de *S. horridum* registrada para cada estado de desarrollo de la pradera Boca del Sauzoso. El • indica la media para cada mes y las \pm la desviación estándar, con un intervalo de confianza del 95%.

4.3.2 Estados de desarrollo poblacional de *S. horridum*

Los diferentes estados de desarrollo o estructura de edades del talo de la población de *S. horridum*, fueron evaluados a lo largo de cada mes de muestreo, determinando que la especie presenta un ciclo de vida corto, su población es dinámica a lo largo del año y presenta un cambio fuerte a nivel morfológico, fisiológico y metabólico de un año a otro (Strasburger *et al.*, 2004).

Durante el año, hay un alto porcentaje de cobertura por parte de plántulas, juveniles y jóvenes, con un 41%; indicando que muchas plántulas sobreviven para formar parte estable de la población. Sin embargo, este sostenimiento de la población también incluye el periodo de latencia, cobertura con la cual la población inicia su ciclo de desarrollo anual (28%).

En los meses de enero a julio, la población de *S. horridum* presenta individuos pertenecientes a las categorías de plántula, juvenil, joven y maduro. Periodo en el cual la pradera está en crecimiento y desarrollo, donde se presentan las mayores tallas y coberturas, incluyendo el periodo reproductivo de los dos estados de madurez registrados (Figura 21).

La mayor senescencia ocurre en agosto con un 45%, ya que la pradera presenta su mayor cobertura; la pradera termina de morir hasta el mes de octubre, para entrar en su periodo de latencia durante octubre y diciembre, registrando solamente talos latentes, con una cobertura del 100%. Toda la pradera entra en estado de reposo para regenerarse durante el siguiente periodo de crecimiento.

Las plántulas fueron encontradas durante seis meses de enero a junio, mostrando un ingreso de nuevos individuos a la población de *S. horridum*. El reclutamiento se presenta durante todo el desarrollo de la pradera, siendo mayor en los meses de enero (25%), febrero (15%) y mayo (10%), correspondientes a los periodos de bajas temperaturas de la columna del agua; siendo un factor clave para el

reclutamiento y sostenimiento de la pradera (Figura 22) (Muñeton, 1989; Muñetón & Hernandez, 1993).

Los juveniles y jóvenes estuvieron presentes en los meses de enero a julio, correspondientes a los mismos meses donde se observaron plántulas y al mes siguiente al último reclutamiento. Los juveniles tuvieron las mayores coberturas en los meses de enero y febrero con 55% y 45%, respectivamente; presentan una disminución a medida que los talos pasan al siguiente estado de desarrollo y termina el reclutamiento en el mes de julio.

Por su parte, los jóvenes presentaron la mayor cobertura en el mes de mayo, durante el mismo tiempo que se da el segundo mayor ingreso de plántulas a la población; su cobertura a lo largo del año varía del 20% al 45%, además de presentar la mayor talla durante este estado.

La madurez de los talos se observa desde el mes de febrero a agosto, con dos picos de máxima cobertura, el primero en marzo con 45% y el segundo en el mes de junio con un 60%. Indicando que hay dos periodos generacionales dentro de la pradera ya que aproximadamente el 50% de la población se encuentra en este estado y coincidiendo con el periodo de reproducción para *S. horridum* reportado para la bahía (Muñeton, 1989).

La senescencia del talo se da en dos periodos, el primero de abril a mayo y el segundo de julio a octubre, estando correlacionados con el aumento de la temperatura superficial del agua (Hernández *et al.*, 1990; Casas *et al.*, 1993; Muñetón & Hernandez, 1993).

La presencia de dos periodos de senescencia confirma el ciclo entre la primera y segunda generación de la pradera de *S. horridum*, donde una parte de la población muere después de madurar y reproducirse, para luego producirse la incorporación de nuevos individuos a la pradera.

Los talos en latencia empiezan a aparecer en el mes de agosto, con la senescencia de toda la población de *S. horridum*, hasta el mes de diciembre. Se presenta una disminución en la cobertura dentro de los siguientes meses, siendo la única categoría presente en los meses de noviembre y diciembre. Desaparece para el mes de enero, ya que estos talos comienzan a desarrollarse para volverse juveniles y comenzar el ciclo de desarrollo de la pradera.

Al determinar la estructura de las edades o categorías de desarrollo del talo a lo largo del año, se observó que la población de *S. horridum* presenta un bajo crecimiento, los estadios de juvenil y joven ocupan la mayoría de la cobertura. Sin embargo, los maduros son los de mayor cobertura a lo largo del año, indicando pequeños cambios en la población, como la disminución en el reclutamiento de propágulos a causa de variables físicas (temperatura, herbivoría, disponibilidad sustrato, etc.) que afectan a la pradera de macroalgas (Littler & Littler, 1985).

Para poder realizar dicha aseveración es necesario no tener en cuenta el estado de latencia, ya que se trata de una categoría que le permite sobrevivir a la macroalga hasta el siguiente ciclo hidrológico; por lo tanto no debe ser considerada un estado de terminación, senescencia o muerte del talo, sino una de transición al siguiente ciclo hidrológico (Figura 23).

Los talos en latencia son de vital importancia para la pradera ya que de ellos depende el desarrollo de la población de *S. horridum* durante el siguiente periodo hidrológico o año. Muestran una gran cobertura al final del año y darán lugar a muchos juveniles en el mes de enero, cuando la pradera comienza a crecer nuevamente, por el descenso en la temperatura superficial del mar; siendo la base con el asentamiento de propágulos de la población durante cada ciclo de desarrollo.

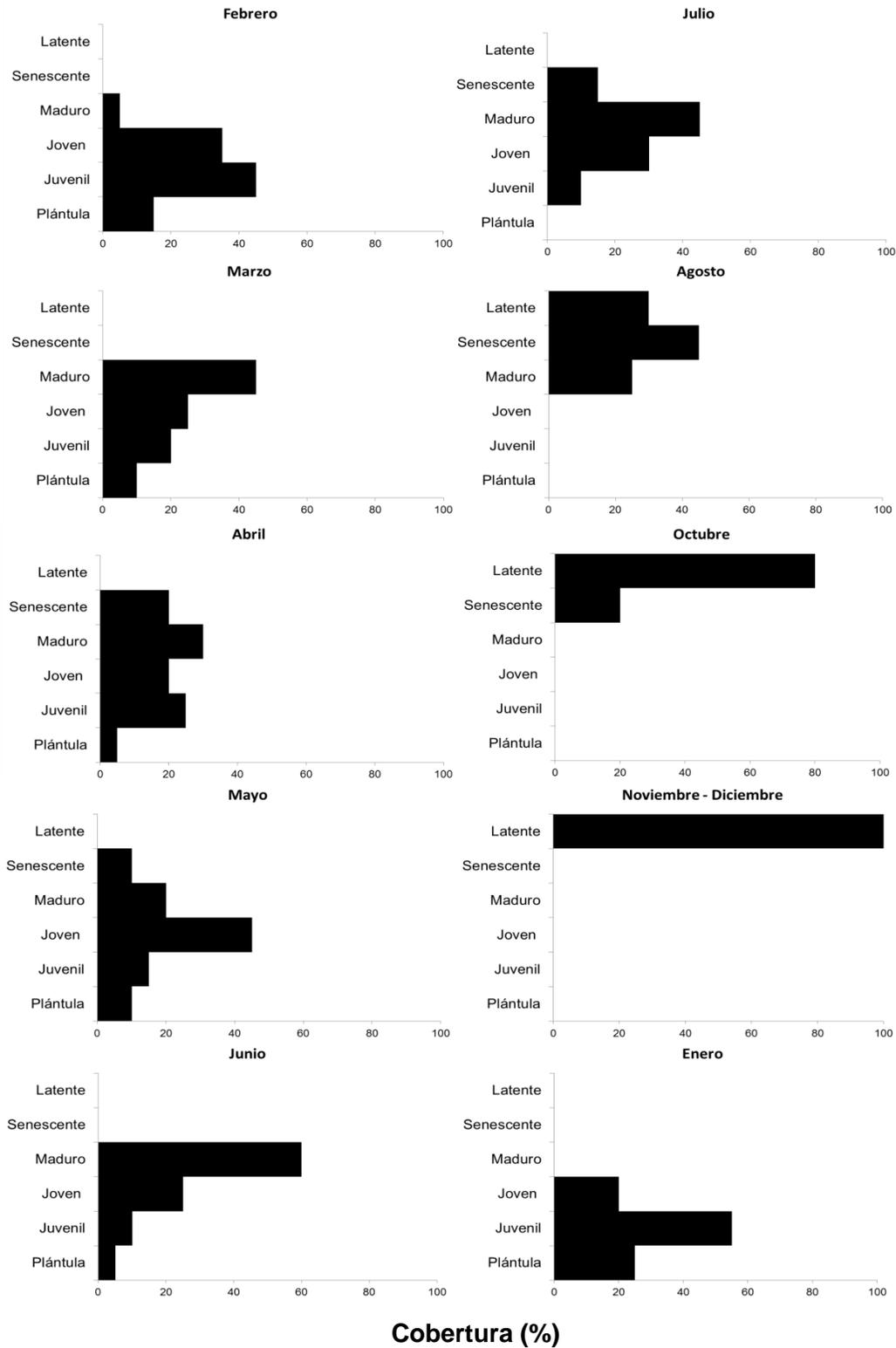


Figura 21. Cobertura mensual de cada categoría de desarrollo del talo de *S. horridum* a lo largo del año de muestreo (febrero 2016 a enero 2017) en Boca del Sauzoso.

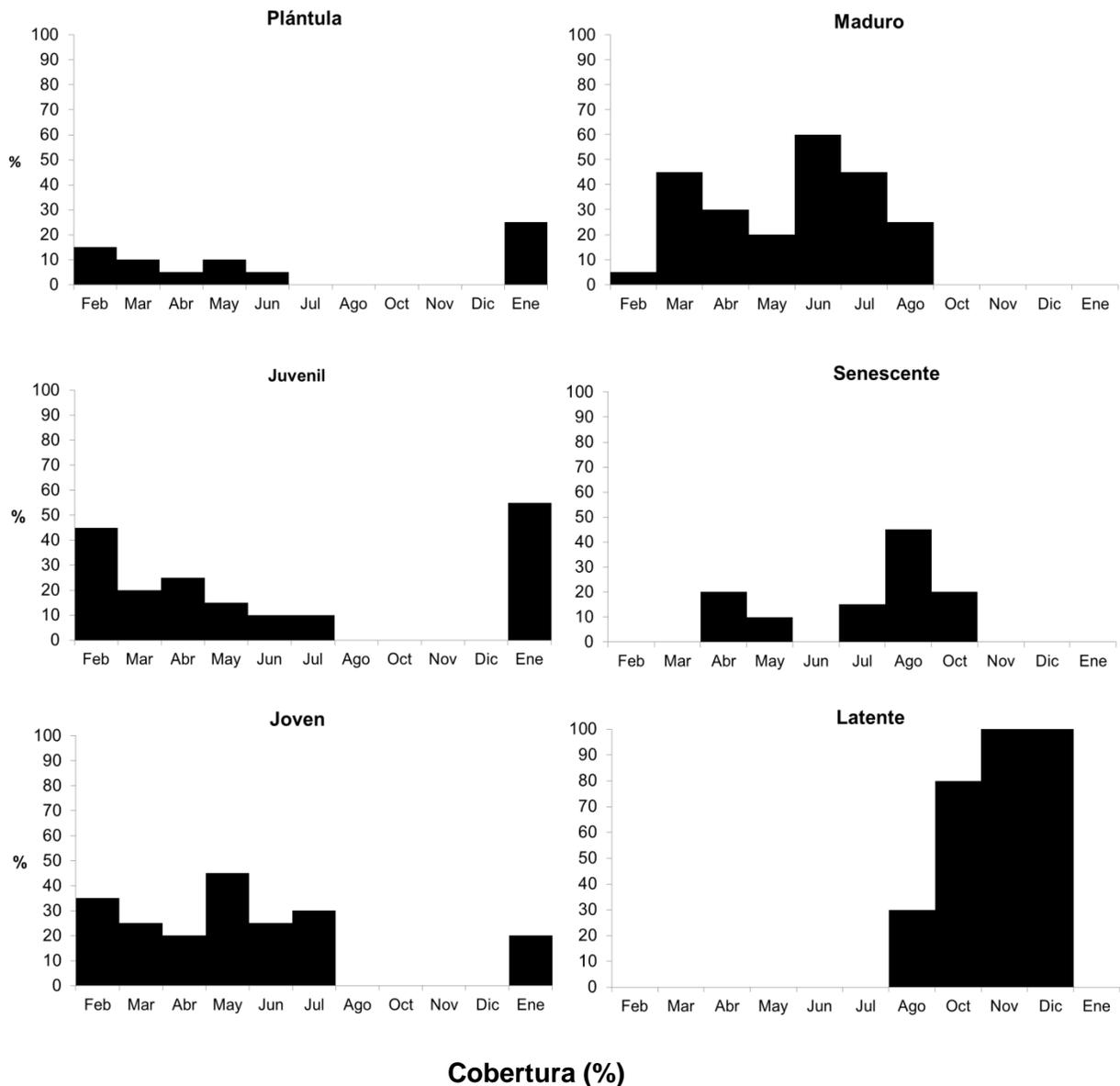


Figura 22. Cobertura de cada categoría de desarrollo del talo de *S. horridum* a lo largo del año de muestreo (febrero 2016 a enero 2017) en Boca del Sauzoso.

Esta distribución de los estados del alga sugiere que en caso de que se cosechara *S. horridum*, no se debe retirar todo el talo, sino prevenir que no se desprenda el disco de fijación. Se recomienda realizar un corte por arriba de los veinte centímetros (20 cm) del disco de fijación, ya que esta es la talla máxima

promedio de los talos en latencia. Lo cual le permitiría a la pradera soportar una cosecha controlada, sin que se afecte el recurso al siguiente año.

Al evaluar los cambios de la pradera en su cobertura y estructura poblacional, se determinaron cuatro periodos de desarrollo de *S. horridum* a lo largo del año, que incorporan las variaciones en estas, la primera y segunda generación, un periodo de senescencia y finalmente uno de latencia. Esta clasificación permitirá evaluar fácilmente los cambios de la comunidad asociados a los diferentes estados de la pradera (Tabla 6).

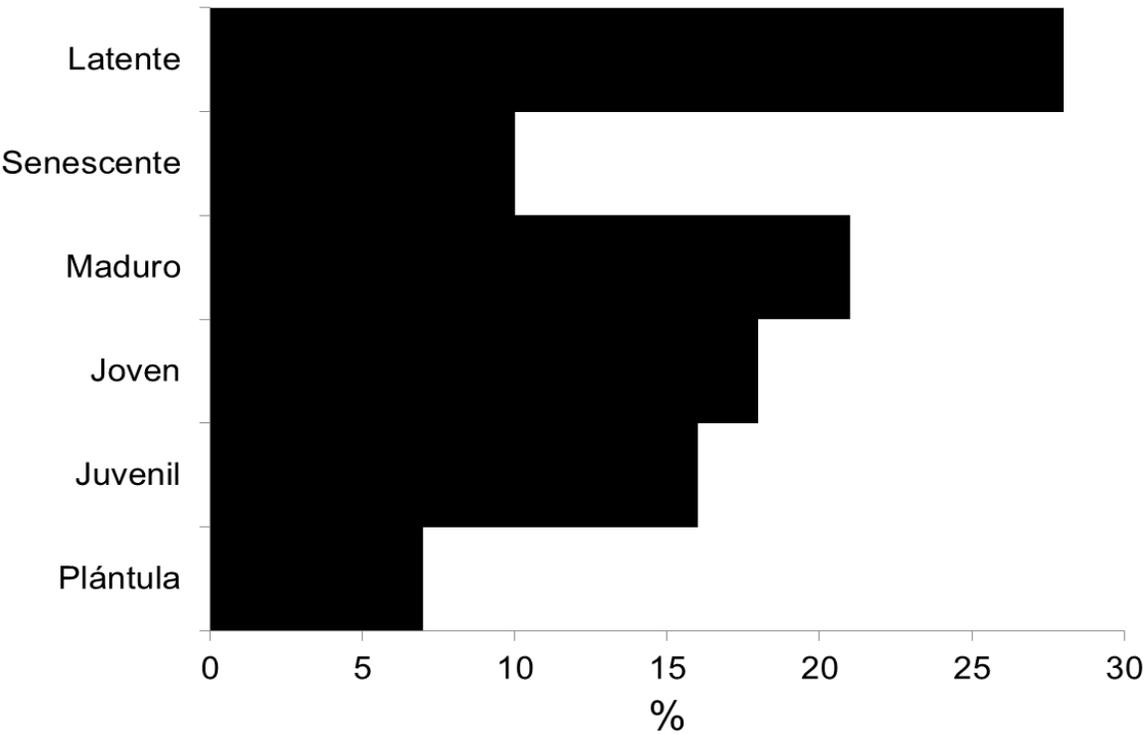


Figura 23. Cobertura total de la estructura de edades o categorías de desarrollo del talo de la población de *S. horridum* de Boca del Sauzoso durante febrero de 2016 a enero de 2017.

Tabla 6. Clasificación del estado de desarrollo de la pradera de *S. horridum* para Boca del Sauzoso, de febrero de 2016 a enero de 2017.

Estado	Mes	Características
Primera generación	Enero	Se presenta la primera incorporación de plántulas al sistema, regeneración de los talos en periodo de latencia. Se obtienen las mayores tallas y tasa de crecimiento, la cobertura aumenta considerablemente. Esta etapa finaliza cuando comienza el primer proceso de senescencia por el aumento de la temperatura del agua.
	Febrero	
	Marzo	
	Abril	
Segunda generación	Mayo	Nueva incorporación de plántulas a la población por disminución de la temperatura, se presenta aumento de la cobertura, llegando a ser continua. La mayoría de la población alcanza el estado de madurez. El contenido de nutrientes es mayor. Esta etapa termina con la perdida foliar que da paso a la senescencia.
	Junio	
Senescencia	Julio	No hay entrada de plántulas al sistema, los procesos reproductivos decaen. Comienzan los procesos de senescencia del talo, con perdida foliar y de estructuras en diferentes grados. Presentándose una desintegración paulatina del talo. Comienza el aumento de epibiontes sobre los talos remanentes.
	Agosto	
	Septiembre	
Latencia	Octubre	El talo es un remanente, muy correoso, con abundantes epibiontes, se observa baja actividad metabólica ya que no hay crecimiento ni reproducción. Está fuertemente sujeto al sustrato. La cobertura es mayor al 50% en cada uno de los meses.
	Noviembre	
	Diciembre	

4.3.3 Composición química de los talos de *S. horridum*

El contenido de los ocho elementos químicos estudiados, que constituyen nutrientes del talo de *S. horridum*, mostró que el orden de distribución es $\text{Ca} > \text{K} > \text{Na} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Fe} > \text{Mn}$. Ajustándose a la clasificación de nutrientes propuesta por Lobban & Harrison (1997), donde el Ca, K, Na, N, Mg y P son macronutrientes y el Fe y Mn micronutrientes.

Al comparar el contenido de estos elementos químicos, se presentaron diferencias significativas (ANOVA, $F_{(7,360)}:115.6$, $p < 0.05$), el test de Tukey indica que existen diferencias significativas entre los contenidos de Ca, K, Na, N y Mg con los de P, Fe y Mn; estos últimos no presentan diferencias significativas entre ellos, distinguiéndose como el grupo de los micronutrientes, dado que sus valores son menores que el primer grupo (Lobban & Harrison, 1997).

Los elementos analizados corresponden al 11.4% de la constitución general del talo de *S. horridum*. El valor promedio de cenizas reportado en otros trabajos para el género *Sargassum* es 35.5%, indicando que aproximadamente el 24% corresponde a otros elementos que no fueron evaluados dentro de este estudio (Gojon, 1997; Casas *et al.*, 2006; Sierra & Alvarez, 2009; Carrillo *et al.*, 2012; Di Filipo, 2014).

Los rangos de variación del contenido de cada elemento se encuentran dentro de lo reportado para las macroalgas, como se observa en la Tabla 7. Los valores promedio de algunos elementos fueron mayores, como es el caso del Fe con valores 4.5 veces más altos, Ca (2.5) y Mn (1.5). Estos elevados contenidos en el talo de *S. horridum* se deben a los grandes aportes minerales que presenta la bahía de la Paz (Velasco, 2009), según Ardila (*in litt.*) asociados a la cercanía de la mina de fosforita.

Los altos niveles de Ca, pueden estar influenciados por el gran número de epízoontes calcáreos (moluscos-crustáceos) de *S. horridum*, los cuales fueron difíciles de retirar del talo y son fuente de carbonatos.

Tabla 7. Contenido de nutrientes o elementos químicos esenciales reportados en macroalgas y en el presente estudio. El valor promedio del presente estudio se indica con su respectiva desviación estándar. Todos los valores están expresados en mg/kg. Las sombras corresponden a: Macronutrientes y Micronutrientes.

Elemento	Lobban & Harrison, 1997			Presente estudio		
	Rango de contenido en materia seca		Contenido promedio	Contenido promedio	Rango de contenido en materia seca	
	Mínimo	Máximo			Mínimo	Máximo
Ca	2,000	360,000	14,300	35,449 ± 16,337	19,726	93,409
K	30,000	82,000	41,100	33,869 ± 14,625	2,478	68,050
Na	-	-	-	17,352 ± 9,294	3,689	52,696
N	500	65,000	23,000	15,037 ± 2,142	11,200	18,900
Mg	1,900	66,000	7,300	8,839 ± 7,803	5,259	58,747
P	300	12,000	2,800	1,818 ± 769	304.46	4,209
Fe	90	1,500	300	1,366 ± 1,132	141.88	4,598
Mn	4	240	50	75.28 ± 39.83	14.67	171.29

Los resultados obtenidos fueron comparados con diferentes trabajos (Tabla 8), encontrándose contenidos promedio similares para la mayoría de los elementos químicos. El contenido de hierro en *S. horridum* fue mayor con respecto al reportado en *S. filipéndula* en el Caribe colombiano, pero muy similar al de *S. naozhouense* en las costas de China.

Otras variaciones importantes que se observaron en el contenido de Ca en *S. horridum*, es que fue más alto con respecto a las otras especies de *Sargassum* de la bahía de la Paz y China, pero menor con respecto a *S. filipéndula*, la cual presenta el mayor porcentaje; debido a la presencia de restos calcáreos de epibiontes que son muy abundantes en los litorales colombianos.

Tabla 8. Contenido de algunos nutrientes en especies del género *Sargassum*, para diferentes zonas del mundo y su comparación con los promedios encontrados en el presente estudio. *Los valores se encuentran en ppm.

	Autor (Sierra & Alvarez, 2009)	Presente estudio	(Casas <i>et al.</i> , 2006)	(Carrillo <i>et al.</i> , 2012)	(Gojon, 1997)	(Peng <i>et al.</i> , 2013)	Presente estudio
Lugar	Colombia	Bahía de La Paz	Bahía de La Paz	Bahía de La Paz	Bahía de La Paz	China	Bahía de La Paz
Especie	<i>S. filipéndula</i>	<i>S. horridum</i>	<i>Sargassum</i> spp	<i>Sargassum</i> spp	<i>Sargassum</i> spp	<i>S. naozhouense</i>	<i>S. horridum</i>
Unidad	% peso seco	% peso seco	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g
Ca	5.71	3.54	5.01	0.03	32.7	0.67	35.45
K	2.9	3.39	68.00	57.70	24.4	41.70	33.87
Na	0.15	1.74	20.67	0.20	24.5	32.50	17.35
N	1.44	1.5	-	-	-	-	-
Mg	1.02	0.88	7.01	9.00	138.3	-	8.84
P	0.05	0.18	0.45	0.001	27.9	1.200	1.82
Fe	28.84*	1366*	0.41	3.6	-	1.47	1.36
Mn	49.35*	75.28*	0.05	-	-	0.0584	0.07

Elemento

Las mediciones de Mg realizadas por Gojon (1997), fueron muy elevadas con respecto a los demás estudios; mientras que algunos valores reportados por Carrillo *et al.* (2012) para Ca, Na y P son bajos. Las variaciones encontradas en estos trabajos, pueden estar influenciadas por la rigurosidad en el procesamiento de las muestras, durante las etapas de limpieza de epibiontes, lavado con agua destilada, procesamiento de la muestra o técnica analítica empleada. Ya que para este estudio, se tuvieron en cuenta dichas interferencias y se evitaron en lo posible.

Al evaluar el contenido promedio total de cada elemento químico, durante los meses de muestreo, se determinó que el Mg fue el único mineral que no presentó variaciones significativas a lo largo del año (ANOVA. $F_{(7,38)}:0.4436$, $p>0.05$) con un valor promedio de $8,839 \pm 7,803$ mg/kg, ya que los requerimientos por parte del talo son constantes durante las diferentes etapas de desarrollo y no se acumula en la célula o matriz extracelular a lo largo del año. Para los macronutrientes restantes, se presentaron diferencias significativas a lo largo del ciclo de vida.

El calcio fue el más alto de todos elementos químicos analizados con un valor promedio de $35,449$ mg/kg $\pm 16,337$, los menores valores se registraron para los meses de febrero y marzo, presentaron diferencias significativas con el resto de los meses (ANOVA. $F_{(7,38)}:14.31$, $p<0.05$). El contenido de Ca aumentó con el paso de los meses y se obtuvo el valor más alto en agosto, cuando la pradera comienza a morir y el número de epibiontes calcáreos aumenta sobre los remanentes del talo. Los meses de octubre, noviembre y diciembre tuvieron una mayor concentración que al inicio del año (Figura 24a).

El potasio presentó una concentración promedio a lo largo del año de $33,869$ mg/kg $\pm 14,625$. Para los meses de febrero y marzo presentó valores máximos de $68,050$ mg/kg, mostrando diferencias significativas ($p<0.05$) con respecto a los demás meses, mientras que agosto se diferencia de junio y octubre, y se encontró

una clara diferenciación de los primeros meses del año (ANOVA. $F(7,38):9.828$, $p<0.05$) (Figura 24b).

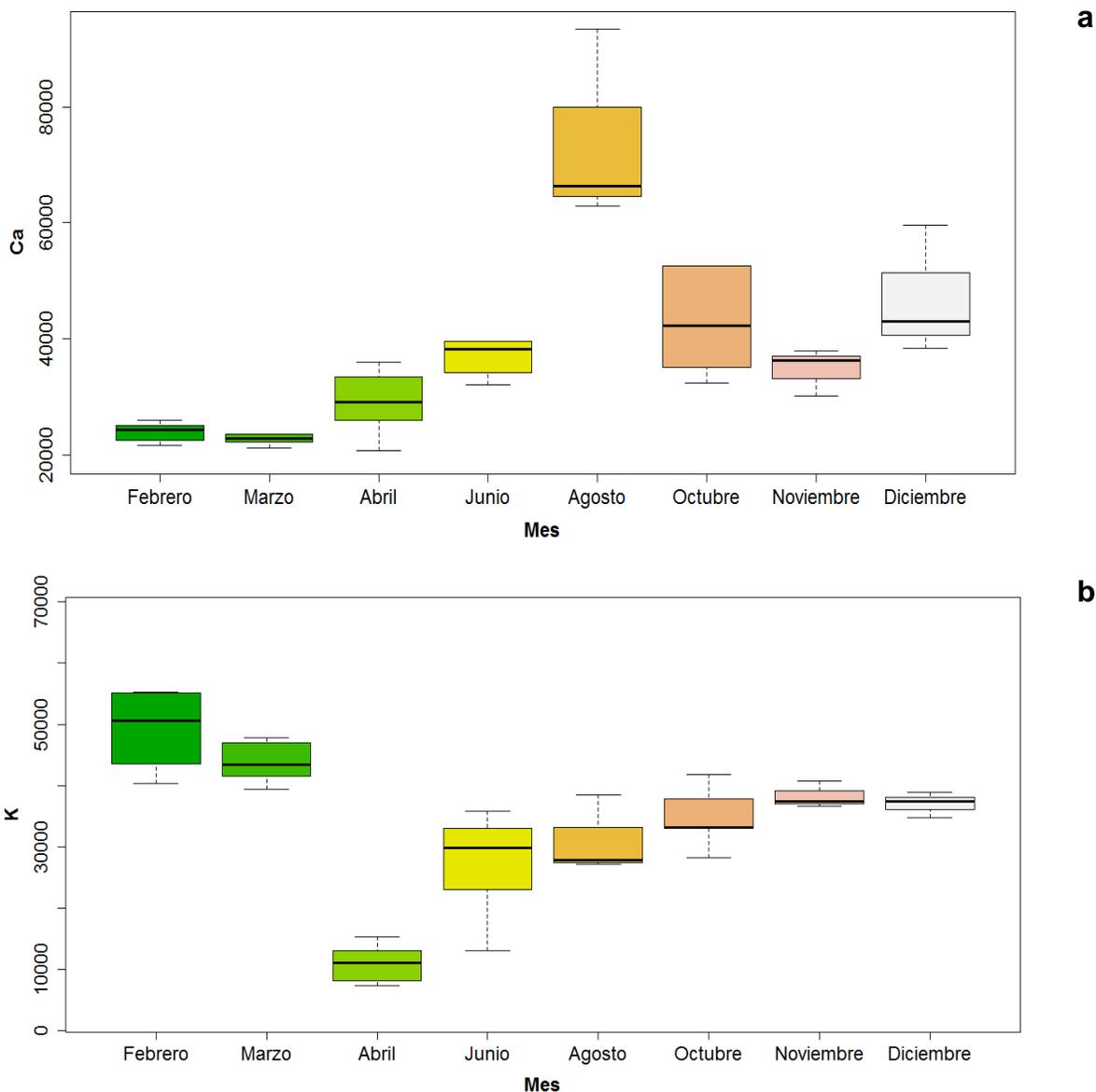


Figura 24. a. Variación del contenido de Calcio (mg/kg) del talo de *S. horridum* en los meses de monitoreo. **b.** Variación del Potasio (mg/kg). La – indica el valor de la media, las I punteadas los valores máximos y mínimos.

El contenido promedio de sodio fue de $17,352 \text{ mg/kg} \pm 9,294$, el mayor valor promedio se registró en agosto. Los contenidos presentes de junio-agosto-octubre

son significativamente diferentes de marzo y diciembre (ANOVA. $F_{(7,38)}:5.243$, $p<0.05$). Este mineral es usado para la activación enzimática y mantener el balance hídrico. Los mayores valores promedio se registran cuando se presentan periodos de senescencia en la pradera; posiblemente al comenzar dicho proceso, los niveles de Na aumentan para mantener su balance con el medio marino (Lobban & Harrison, 1997) (Figura 25a).

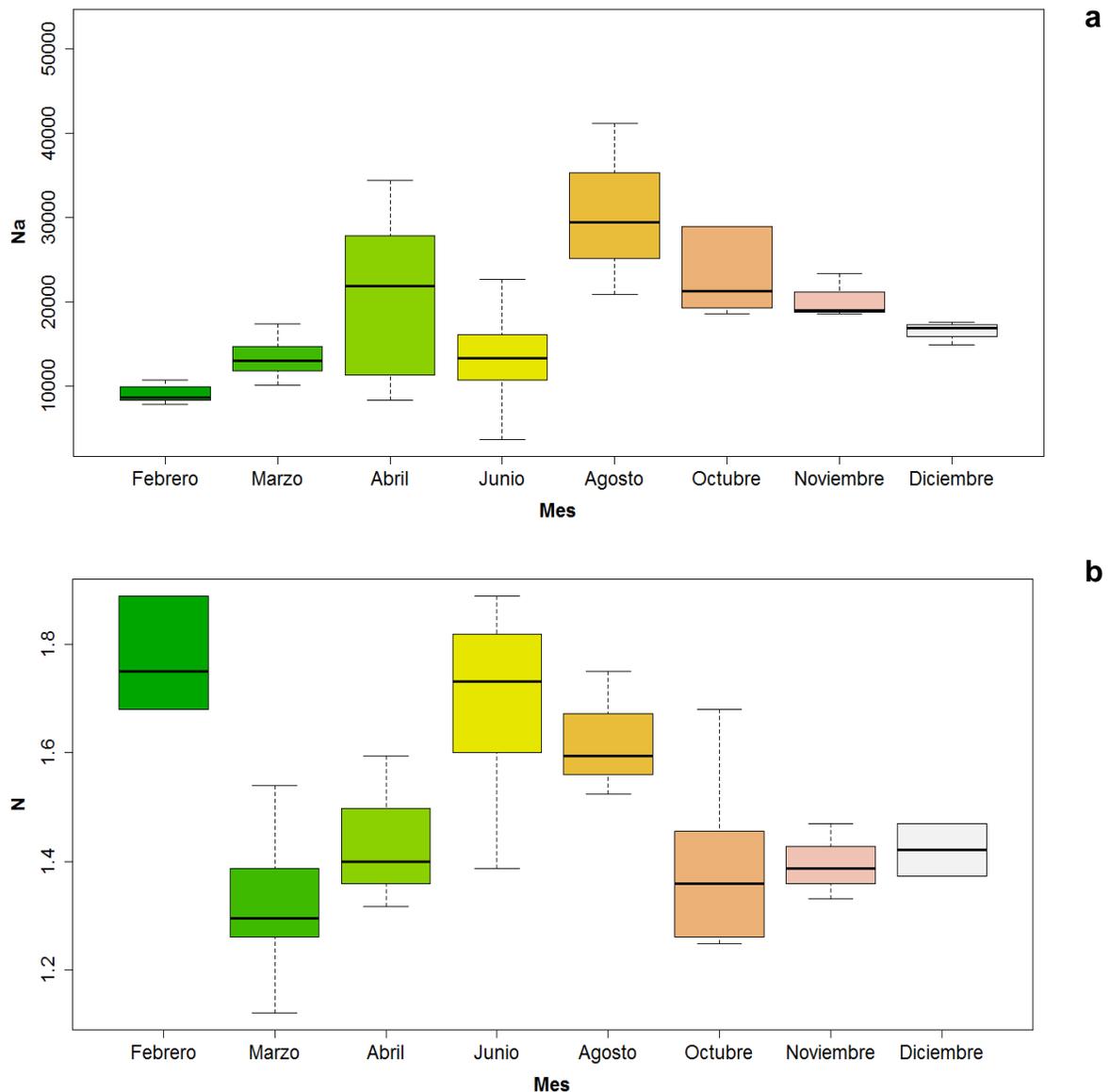


Figura 25. a. Variación del contenido de Sodio (mg/kg) del talo de *S. horridum* en cada uno de los meses de monitoreo. **b.** Variación del Nitrógeno (%). La – indica el valor de la media, las I punteadas los valores máximos y mínimos.

El nitrógeno presentó los mayores contenidos en febrero y junio, meses donde la pradera está en crecimiento y los talos jóvenes están pasando a ser maduros. Los meses de junio y agosto son significativamente diferentes y con un mayor contenido de N que los meses de octubre-noviembre-diciembre (ANOVA. $F_{(7,38)}11.17$, $p < 0.05$); porque el talo se encuentra en procesos de senescencia o latencia y no requiere un alto contenido de N (Figura 25b) (Lobban & Harrison, 1997).

Los micronutrientes también presentaron variaciones durante el ciclo estudiado; el contenido de fósforo presentó los mayores valores cuando la pradera se encuentra madura, con un valor promedio de $1,818 \text{ mg/kg} \pm 769.18$. Los meses de febrero-marzo fueron significativamente diferentes con julio-agosto y octubre-noviembre-diciembre. Los mayores valores se obtuvieron en junio-agosto, presentando diferencias significativas con los meses de octubre, noviembre y diciembre. Se observó una diferenciación en el contenido de P al inicio, mitad y final de año (ANOVA. $F_{(7,38)}:6.238$, $p < 0.05$) (Figura 26).

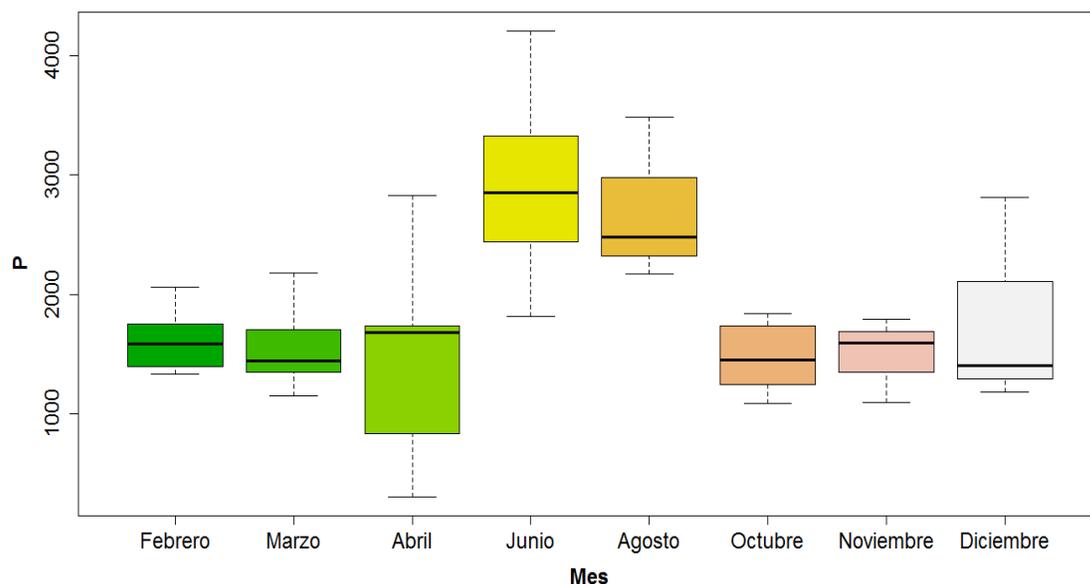


Figura 26. Variación del contenido de Fósforo (mg/kg) del talo de *S. horridum* en los meses de monitoreo. La – indica el valor de la media, las I punteadas los valores máximos y mínimos.

El hierro presentó un valor promedio de 1,366 mg/kg \pm 1,132, los meses de febrero-marzo-abril presentaron diferencias significativas con respecto a junio-agosto-octubre y octubre con diciembre (ANOVA. $F_{(7,38)}:6.238$, $p<0.05$) (Figura 27a). El contenido promedio de Fe aumenta con el tiempo de vida del talo (febrero-agosto), ya que este ha permanecido mayor tiempo en el sistema, pudiendo acumular una mayor cantidad. Cuando *S. horridum* pasa a estado de senescencia o latencia, disminuyen sus valores, sin embargo, son mayores a los presentes en los primeros estados de desarrollo del talo (febrero-marzo-abril).

El nutriente en menor proporción fue el manganeso con una tendencia similar al hierro. (Figura 27b). El promedio fue de 75.28 mg/kg \pm 39.83, con el menor valor en febrero y el mayor en agosto. Se presentaron diferencias significativas entre los meses, siendo marzo y febrero diferente al resto (ANOVA. $F_{(7,38)}:17.85$, $p<0.05$).

Para determinar, si el contenido de los elementos químicos del talo varía durante las épocas de desarrollo de la pradera de *S. horridum* propuestas en este estudio, se realizó un análisis discriminante. El contenido de Ca, K, Na, Mg, P, Fe y Mn, siete de los ocho elementos químicos analizados discriminan en un 75.5% los grupos formados durante el desarrollo de la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso.

Durante la primera y segunda generación, el contenido de P y Mg fueron significativamente menores a los otros estados de la pradera, mientras que el K, Na, Ca, Fe y Mn fueron mayores para la senescencia y latencia. Los nutrientes que aportan el mayor grado de significancia a la discriminación son el Ca, Na, Fe y Mn. Los valores promedio de contenido de nutrientes en el talo fueron menores durante la primera y segunda generación y van aumentando hasta llegar al periodo de senescencia y decaen cuando entran en latencia (Figura 28).

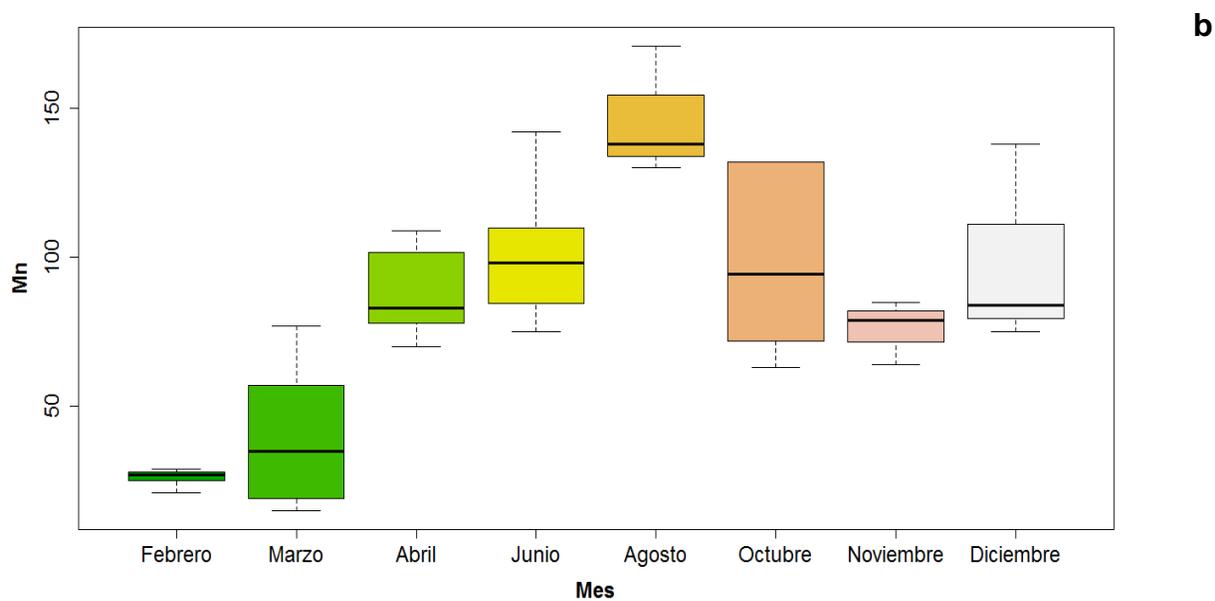
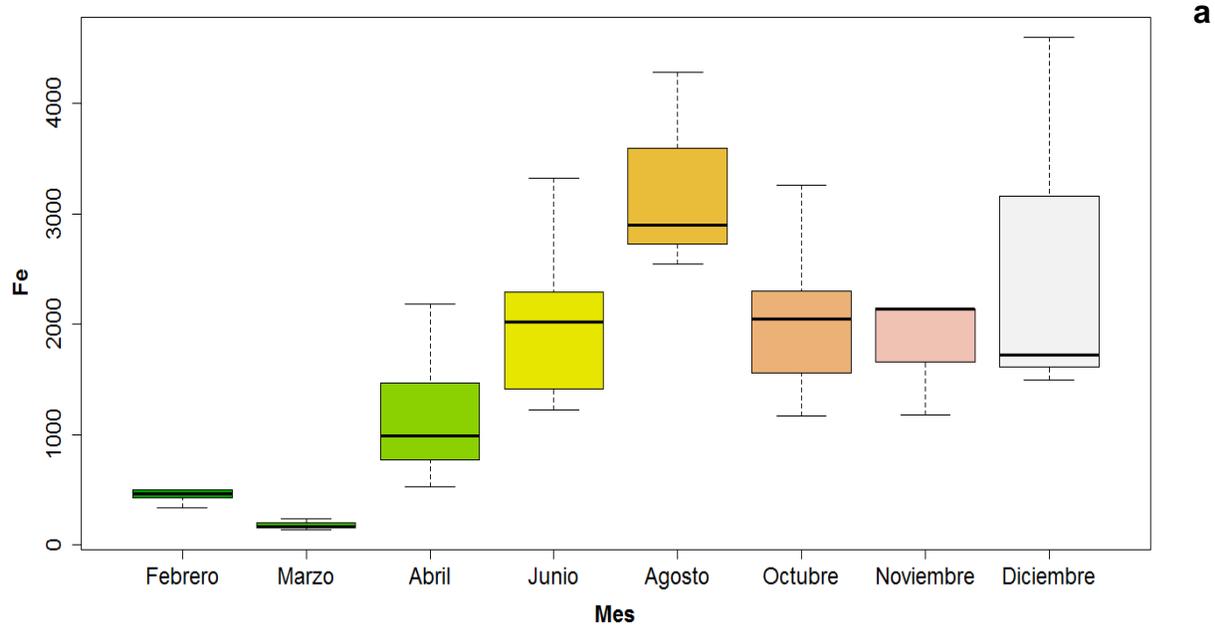


Figura 27. a. Variación del contenido de Hierro (mg/kg) del talo de *S. horridum* en cada uno de los meses de monitoreo. **b.** Variación del Manganeso. La – indica el valor de la media, las I punteadas los valores máximos y mínimos.

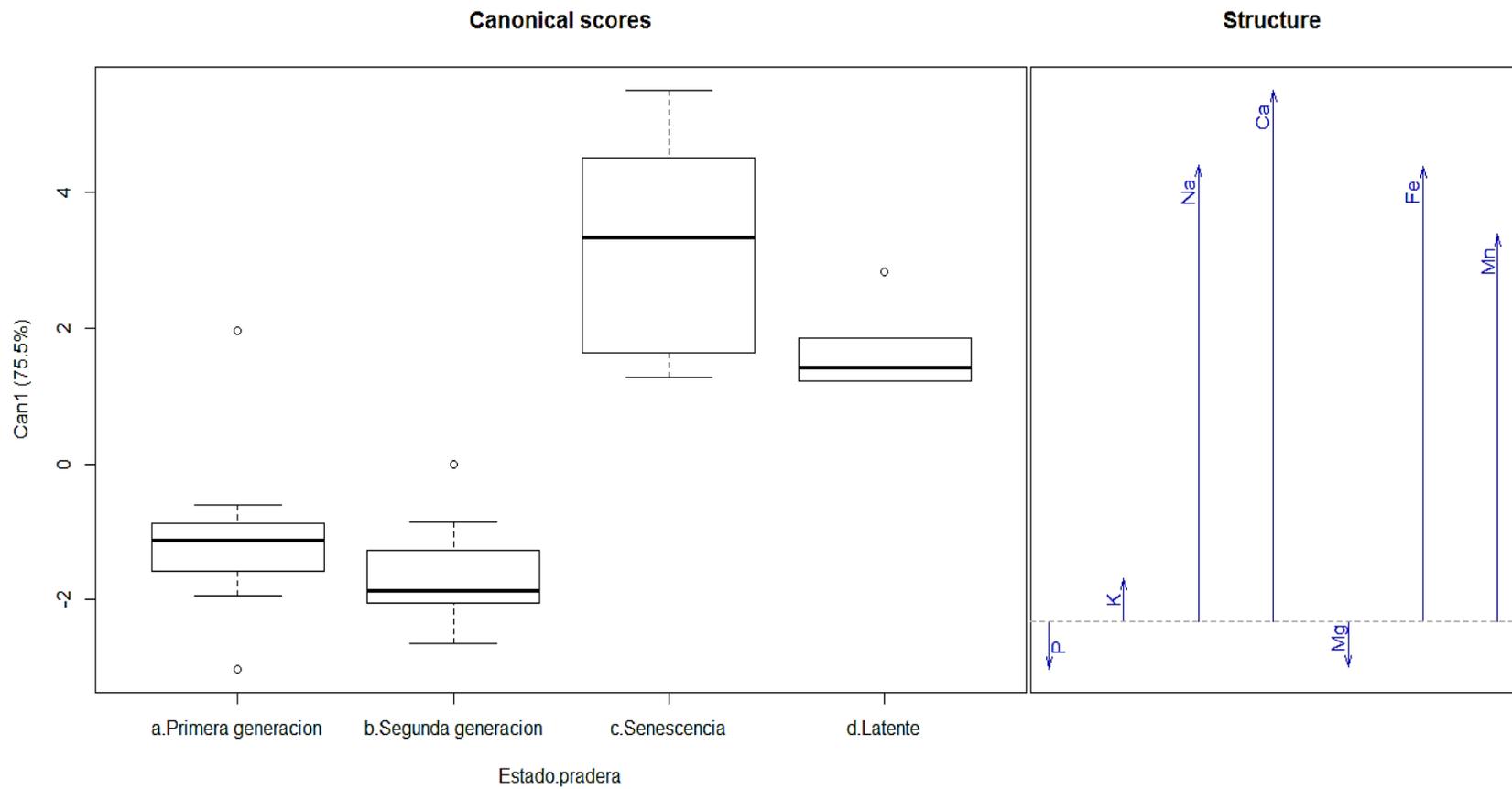


Figura 28. Análisis discriminante para los diferentes estados de la pradera de *S. horridum* de Boca del Sauzoso, teniendo en cuenta el contenido de los nutrientes del talo, durante febrero 2016 a enero de 2017. La – indica el valor de la media, las I punteadas los valores máximos y mínimos, los ° valores extremos.

Se observó un patrón generalizado para la mayoría de los elementos químicos, cuando mayor es el tiempo de residencia del talo en el medio, mayor es el contenido de macro y micronutrientes en el talo. El contenido de estos elementos está asociado al desarrollo de la pradera, a su edad, morfología, época reproductiva y periodo de latencia (Tabla 9).

Tabla 9. Contenido promedio de nutrientes (mg/kg) del talo de *S. horridum* en cada época o estado de desarrollo de la pradera de Boca del Sauzoso. *Valores en porcentaje (%). Se indica el promedio con su valor de desviación estándar.

Estado de la pradera de <i>S. horridum</i>				
Elemento	Primera generación	Segunda generación	Senescencia	Latencia
Ca	25,124 ± 4,195	38,469 ± 6,448	57,014 ± 21,978	40,878 ± 10,080
K	35,010 ± 19,317	27,293 ± 8,044	33,418 ± 5,162	37,656 ± 2,007
Na	14,216 ± 7,021	13,334 ± 5,984	28,160 ± 11,686	18,371 ± 2,815
N*	1.48 ± 0.23	1.69 ± 0.19	1.47 ± 0.18	1.41 ± 0.06
Mg	9,455 ± 10,707	8,732 ± 1,455	8,958 ± 2,280	6,322 ± 565.38
P	1,515 ± 492.20	2,918 ± 792.10	1,882 ± 745.25	1,648 ± 626.75
Fe	561.65 ± 534.58	1,996 ± 737.70	2,456 ± 940.17	2,214 ± 1,225
Mn	50.28 ± 30.12	100.47 ± 23.09	114.24 ± 35.33	87.46 ± 25.81

La variación en la composición química elemental de *S. horridum* coincide con la estructura poblacional propuesta; este trabajo evaluó si ocurren variaciones significativas en la composición química según las categorías, que se generaron basándose solamente en la variación fisiológica y morfología del talo.

El análisis discriminante determinó que cuatro elementos químicos son los que mejor discriminan los estados de desarrollo de *S. horridum*. El contenido de

calcio, sodio, manganeso y hierro explican en un 81.5% las diferencias entre las categorías o estados de desarrollo poblacional (Figura 29).

El contenido de Ca, Na y Mn son los que tienen una mayor fuerza en la discriminación, presentan los mayores valores en el estado de senescencia, seguido de una disminución cuando el talo está latente (reducción hasta del 90% del talo), pero significativamente mayor a los primeros estados de desarrollo del talo. La acumulación de estos elementos está sujeta al tiempo que reside el alga en el sistema y está expuesta a dichos nutrientes; entre más viejo sea el talo mayor es su contenido (Lobban & Harrison, 1997).

En los primeros estadios de desarrollo, las variaciones en el contenido de Ca, N, Mn y Fe son pequeñas, sin embargo, se pueden diferenciar por sus rangos de variación, los cuales aumentan al pasar al siguiente estadio. Se debe tener en cuenta que estos elementos químicos también son usados activamente en los procesos metabólicos durante estas etapas de desarrollo (Lobban & Harrison, 1997), sin llegarse a acumular; cuando estos procesos disminuyen y no son usados, la acumulación de estos nutrientes aumenta en el talo.

Las variaciones de los elementos químicos potasio, nitrógeno, magnesio y fósforo no influyen dentro de la diferenciación de los diferentes estados, razón por la cual no se observan en la estructura del análisis discriminante (Figura 29). Dicho de otra manera, las concentraciones de estos elementos son similares a lo largo del ciclo de vida del gametofito.

La composición química del talo de *S. horridum* evaluada, apoya la categorización de los estados de desarrollo del talo realizada a nivel morfológico y fisiológico para el Golfo de California (Nuñez & Casas, 1996) y también diferencia las etapas de desarrollo o sucesión de la pradera de Boca del Sauzoso.

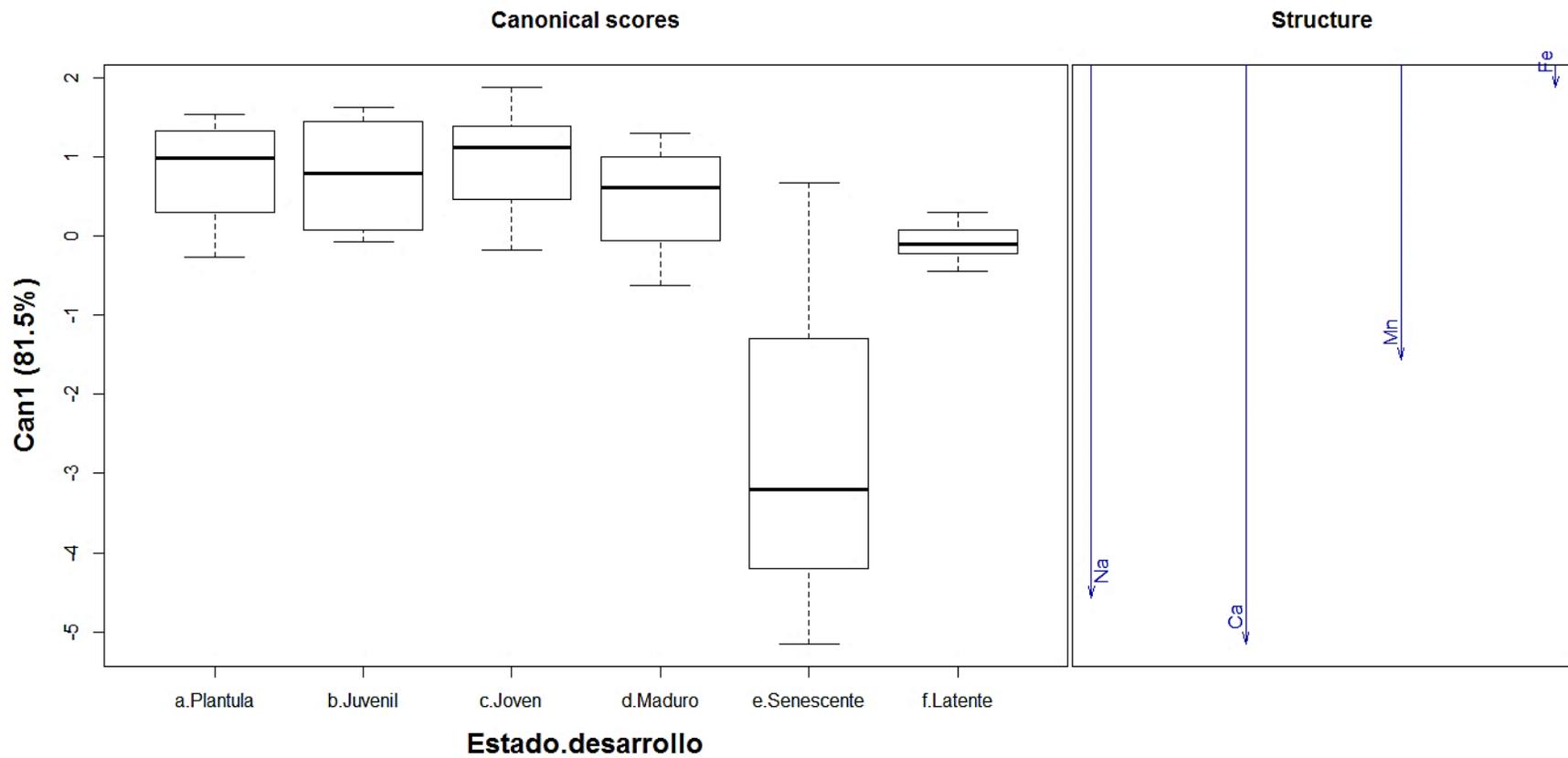


Figura 29. Análisis discriminante para los diferentes estados de desarrollo de *S. horridum* en Boca del Sauzoso, basado en el contenido de los nutrientes del talo, durante febrero 2016 a enero de 2017. La – indica el valor de la media, las I punteadas los valores máximos y mínimos.

Al confirmar que la variación en la composición química elemental también depende del estado de desarrollo o crecimiento del organismo, se presentan los promedios del contenido de estos ocho elementos (Ca, K, Na, N, P, Fe, Mn) para cada uno de los estados de desarrollo del talo de *S. horridum* en la pradera de Boca del Sauzoso (Tabla 10).

Tabla 10. Contenido promedio de nutrientes (mg/kg) en cada estado de desarrollo del talo de *S. horridum* para Boca del Sauzoso. *Valores en porcentaje (%). Se indica el promedio con su valor de desviación estándar.

Estado desarrollo del talo de <i>S. horridum</i>						
Elemento	Plántula	Juvenil	Joven	Maduro	Senescente	Latente
Ca	29,403 ±7,135	30,643 ±9,526	27,234 ±6,223	23,651 ±2,744	57,748 ±24,725	38,938 ±8,579
K	28,617 ±19,121	36,941 ±13,531	31,734 ±18,113	43,894 ±22,935	26,349 ±10,195	37,628 ±2,692
Na	11,615 ±7,811	13,124 ±3,812	12,901 ±5,945	18,043 ±6,500	29,632 ±13,577	18,815 ±2,422
N*	1.59 ±0.21	1.52 ±0.23	1.63 ±0.24	1.28 ±0.12	1.50 ±0.17	1.38 ±0.07
Mg	6,753 ±2,211	7,496 ±2,020	7,643 ±2,124	20,400 ±25,612	10,172 ±1,705	6,397 ±464
P	1,570 ±214.46	2,132 ±998.66	1,682 ±844.74	1,761 ±301.31	2,064 ±858.25	1,550 ±543.48
Fe	768.15 ±602.91	1,105 ±1,092	845.32 ±767.47	375.66 ±411.29	2,414 ±1,118	2,067 ±1,033
Mn	65.25 ±31.74	67.58 ±44.66	55.84 ±33.88	43.95 ±20.85	123.18 ±28.11	83.41 ±22.52

4.3.4 Descripción general de la pradera de *S. horridum*

En la Tabla 11, se realiza una descripción general y consolidada de la pradera de *S. horridum* incluyendo las observaciones físicas y químicas realizadas durante los monitoreos, datos de cobertura general y estructura poblacional de *S. horridum*.

Tabla 11. Descripción general de la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso. Bahía de la Paz, durante febrero de 2016 a enero de 2017. Donde P: Plántula. J: Juvenil. JO: Joven. M: Maduro. S: Senescente y L: Latente

Estado de la pradera	Mes	Estación climática	TSM (°C)	Área promedio de la pradera (m ²)	Cobertura S. <i>horridum</i> %	Distribución	Estructura poblacional	Talla promedio mensual (cm)
Primera generación	Enero	Invierno	21.67	18336	26	Agrupada	P-J-JO	36
	Febrero	Invierno	21.06		37	Agrupada	P-J-JO-M	119
	Marzo	Primavera	25.86		35	Agrupada	P-J-JO-M	69
	Abril	Primavera	26.62		30	Continua	P-J-JO-M-S	38
Segunda generación	Mayo	Primavera	24.72	23860	30	Continua	P-J-JO-M-S	31
	Junio	Verano	22.90		41	Continua	P-J-JO-M	30
Senescencia	Julio	Verano	25.87	14720	42	Continua	J-JO-M-S	27
	Agosto	Verano	28.47		11	Agrupada	M-S-L	25
	Septiembre*	Otoño	29.17		-	Agrupada	S-L	19
Latencia	Octubre	Otoño	29.81	9686	14	Agrupada	S-L	15
	Noviembre	Otoño	27.90		10	Agrupada	L	26
	Diciembre	Invierno	24.22		5	Agrupada	L	36

4.4 Comunidad asociada

4.4.1 Comunidad íctica

Se realizaron 22 censos visuales, donde se observaron un total de 3,417 individuos, con una densidad promedio mensual de 0.8 ± 0.23 individuos/m². La comunidad estuvo compuesta por 46 especies; representada en 8 órdenes, 27 familias y 39 géneros. Se encontraron organismos con hábitos tróficos carnívoros, herbívoros, omnívoros, zooplanctófagos y zoobentófagos (Tabla 12), correspondiendo a un 45% de las especies litorales registradas para la bahía de la Paz y su complejo insular (González, 2003; Barjau, 2012; Barjau *et al.*, 2016).

Los órdenes que aportan las mayores riquezas y abundancias al sistema fueron los Perciformes con 33 especies, los Tetraodontiformes con cinco especies y por último los Syngnathiformes con tres especies; los cinco órdenes restantes solo tuvieron una especie como representante dentro de la comunidad íctica (Figura 30a).

Las familias con una mayor contribución a la composición de la comunidad íctica fueron: Labridae y Pomacentridae, con cinco y cuatro especies respectivamente, seguidos de Acanthuridae, Haemulidae, Lutjanidae, Serranidae y Tetraodontidae, cada una con tres especies (Figura 30b).

De las especies observadas, se encontraron diferentes niveles de la red trófica, donde 18 son zoobentófagas, 13 carnívoras (piscívoras), siete presentan hábitos omnívoros, cuatro herbívoros y uno zooplanctófago. Para las especies *Gobiosoma cf. chiquita*, *Scarus sp.1* y *Canthigaster punctatissima* no fue posible determinar el grupo trófico al cual pertenecen (Figura 31).

Tabla 12. Composición específica de la comunidad íctica asociada a la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso de febrero del 2016 a enero 2017.

ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	GRUPO TRÓFICO
Anguilliformes	Muraenidae	<i>Muraena</i>	<i>Muraena lentiginosa</i>	Zoobentófago
Beloniformes	Hemiramphidae	<i>Hemiramphus</i>	<i>Hemiramphus saltator</i>	Zooplancetófago
Mugiliformes	Mugilidae	<i>Mugil</i>	<i>Mugil cf. cephalus</i>	Herbívoro
Perciformes	Acanthuridae	<i>Acanthurus</i>	<i>Acanthurus triostegus</i>	Zoobentófago
		<i>Acanthurus</i>	<i>Acanthurus xanthopterus</i>	Omnívoro
		<i>Prionurus</i>	<i>Prionurus punctatus</i>	Zoobentófago
	Apogonidae	<i>Apogon</i>	<i>Apogon retrosella</i>	Zoobentófago
	Carangidae	<i>Caranx</i>	<i>Caranx caninus</i>	Zoobentófago
	Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	<i>Chaetodon humeralis</i>	Omnívoro
	Cirrithidae	<i>Cirrithus</i>	<i>Cirrithus rivulatus</i>	Zoobentófago
	Gerreidae	<i>Gerres</i>	<i>Gerres cinereus</i>	Zoobentófago
	Gobiidae	<i>Gobiosoma</i>	<i>Gobiosoma cf. chiquita</i>	-
	Haemulidae	<i>Haemulon</i>	<i>Haemulon maculicauda</i>	Carnívoro
		<i>Haemulon</i>	<i>Haemulon sexfasciatum</i>	Carnívoro
		<i>Haemulon</i>	<i>Haemulon steindachneri</i>	Zoobentófago
	Labridae	<i>Bodianus</i>	<i>Bodianus diplotaenia</i>	Zoobentófago
		<i>Halichoeres</i>	<i>Halichoeres dispilus</i>	Zoobentófago
		<i>Halichoeres</i>	<i>Halichoeres chierchiae</i>	Zoobentófago
		<i>Halichoeres</i>	<i>Halichoeres nicholsi</i>	Zoobentófago
		<i>Thalassoma</i>	<i>Thalassoma lucasanum</i>	Carnívoro
	Labrisomidae	<i>Labrisomus</i>	<i>Labrisomus cf. xanti</i>	Zoobentófago
	Lutjanidae	<i>Hoplopagrus</i>	<i>Hoplopagrus guentherii</i>	Carnívoro
		<i>Lutjanus</i>	<i>Lutjanus argentiventris</i>	Carnívoro
		<i>Lutjanus</i>	<i>Lutjanus guttatus</i>	Carnívoro
	Pomacanthidae	<i>Holacanthus</i>	<i>Holacanthus passer</i>	Omnívoro
		<i>Pomacanthus</i>	<i>Pomacanthus zonipectus</i>	Zoobentófago
	Pomacentridae	<i>Abudefduf</i>	<i>Abudefduf troschelii</i>	Omnívoro
		<i>Microspathodon</i>	<i>Microspathodon dorsalis</i>	Herbívoro
		<i>Stegastes</i>	<i>Stegastes leucorus</i>	Omnívoro
		<i>Stegastes</i>	<i>Stegastes rectifraenum</i>	Herbívoro
Scaridae	<i>Nicholsina</i>	<i>Nicholsina denticulata</i>	Herbívoro	
	<i>Scarus</i>	<i>Scarus sp.1</i>	-	
Serranidae	<i>Epinephelus</i>	<i>Epinephelus labriformis</i>	Carnívoro	
	<i>Mycteroperca</i>	<i>Mycteroperca rosacea</i>	Carnívoro	
	<i>Paralabrax</i>	<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>	Carnívoro	
Sparidae	<i>Calamus</i>	<i>Calamus brachysomus</i>	Zoobentófago	
Rajiformes	Urolophidae	<i>Urobatis</i>	<i>Urobatis concentricus</i>	Zoobentófago
Scorpaeniformes	Scorpaenidae	<i>Scorpaena</i>	<i>Scorpaena mystes</i>	Carnívoro
Syngnathiformes	Syngnathidae	<i>Doryrhamphus</i>	<i>Doryrhamphus excisus</i>	Carnívoro
	Aulostomidae	<i>Aulostomus</i>	<i>Aulostomus chinensis</i>	Carnívoro
	Fistulariidae	<i>Fistularia</i>	<i>Fistularia commersonii</i>	Carnívoro
Tetraodontiformes	Ballistidae	<i>Ballistes</i>	<i>Balistes polylepis</i>	Zoobentófago
	Diodontidae	<i>Diodon</i>	<i>Diodon holacanthus</i>	Zoobentófago
	Tetraodontidae	<i>Arothron</i>	<i>Arothron meleagris</i>	Omnívoro
		<i>Canthigaster</i>	<i>Canthigaster punctatissima</i>	-
		<i>Sphoeroides</i>	<i>Sphoeroides annulatus</i>	Omnívoro

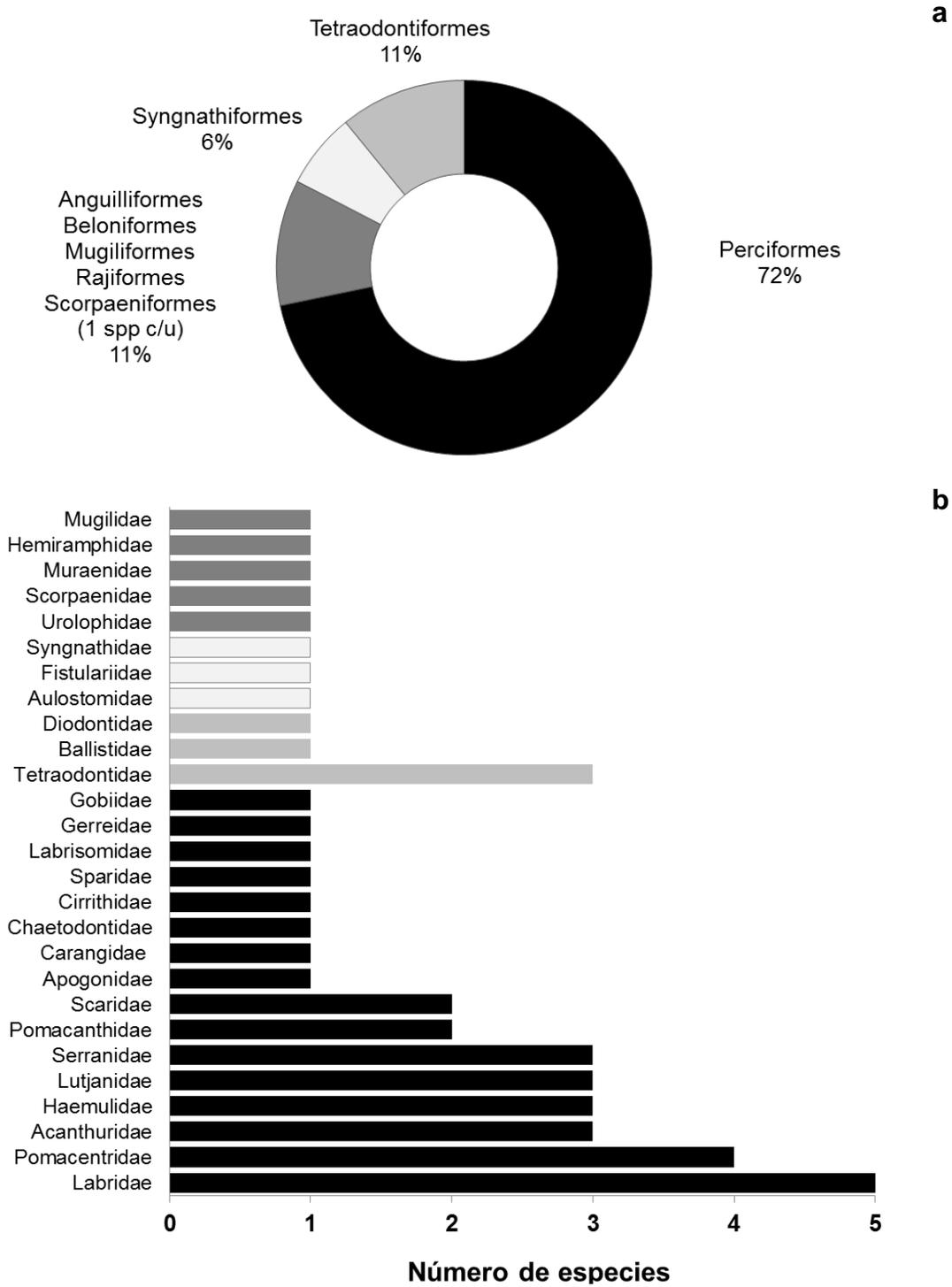


Figura 30. **a.** Riqueza relativa total de los órdenes de la comunidad íctica registrados para la pradera de *S. horridum*. **b.** Riqueza específica total de cada familia de peces observadas en Boca del Sauzoso durante febrero 2016 a enero 2017.

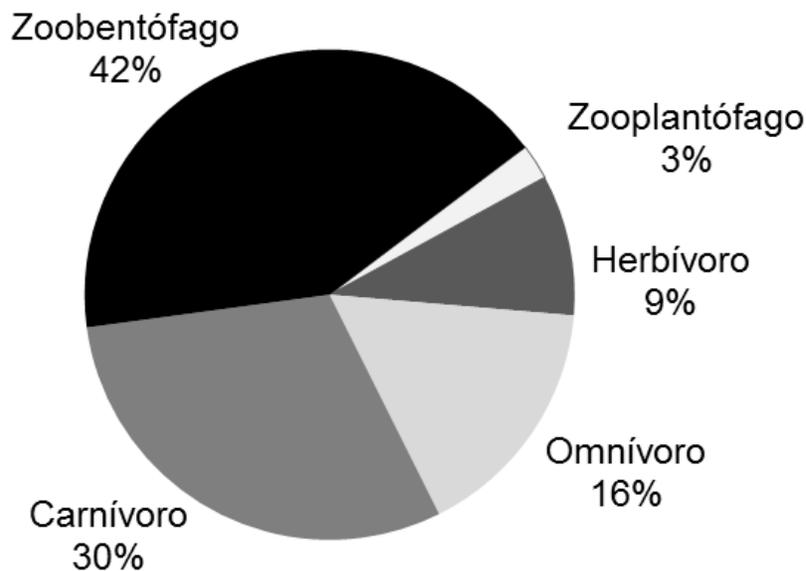


Figura 31. Riqueza e importancia relativa total de los diferentes grupos tróficos representados en la comunidad íctica de los mantos de *S. horridum* en Boca del Sauzoso.

Las especies más abundantes durante el monitoreo fueron *Stegastes rectifraenum* (abundancia relativa global de 14.4%), *Thalassoma lucasanum* (15.6%) y *Abudefduf troschelii* (28.3%), conformando el 58.4% de la abundancia total. Estas especies se caracterizan por ser individuos comunes en los litorales rocosos y arrecifes de la bahía de la Paz; mientras que *Halichoeres nicholsi* y *Doryrhamphus excisus*, con valores de abundancia relativa global de 0.0029%, solo registraron un individuo para todo el año, ya que son organismos poco abundantes, difíciles de observar en el medio natural por su alta movilidad o camuflaje (Humann & Deloach, 2004; Barjau, 2012) (Figura 32).

La abundancia relativa mensual muestra que junio y mayo son los meses con presencia de un mayor número de familias, 19 y 18 respectivamente, seguidos por julio y enero cada uno con 16 familias. El mes con menor número de familias fue noviembre. Las familias Labridae, Labrisomidae, Pomacentridae, Serranidae y Tetraodontidae estuvieron presentes durante todos los meses de monitoreo, mientras que Syngnathidae y Chaetodontidae fueron observados durante un solo mes (agosto y julio).

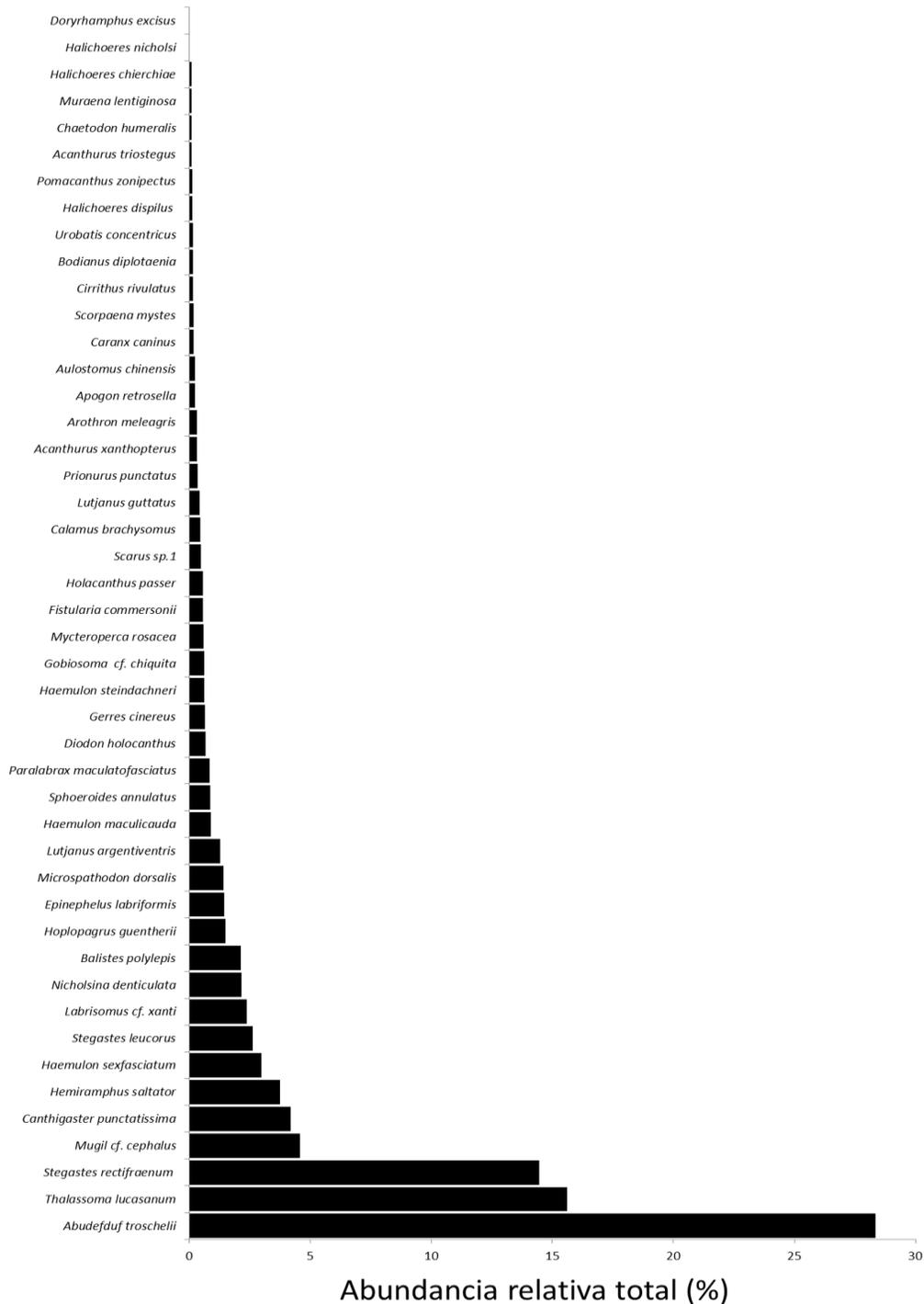


Figura 32. Abundancia relativa global de la comunidad íctica asociada a los mantos de *S. horridum* en Boca del Sauzoso.

Los meses con mayor número de individuos fueron mayo (456) y marzo (435) seguido de junio y enero con 395 y 373 registros. Los meses con menores

abundancias fueron noviembre y diciembre con 153 y 133 individuos respectivamente (Tabla 13). La familia Pomacanthidae presentó la abundancia relativa mensual más alta para todos los meses de muestreo, ya que la mayoría de las especies de esta familia son territorialistas y tienden a tener poca área de desplazamiento; mientras que la familia Serranidae a pesar de estar presente durante todo el año, sus abundancias relativas fueron bajas, debido a que la mayoría de los integrantes de esta familia tienden a esconderse o huir en presencia de humanos (González, 2003; Humann & Deloach, 2004).

Tabla 13. Abundancia relativa mensual (%) por familias de la comunidad íctica asociada a una pradera de *S. horridum*. en Boca del Sauzoso durante el 2016.

Familia	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Acanthuridae					1.27	5.12					
Apogonidae							2.07	1.69			
Aulostomidae	0.60	0.46	0.99	0.22							
Ballistidae				3.51	6.58	2.20	1.24	1.13		1.50	3.99
Carangidae				0.22				2.82			
Chaetodontidae						0.73					
Cirrihidae						0.24	1.65				
Diodontidae	1.19	0.23	0.66	0.44	1.27	0.73		1.13	1.31	0.75	0.27
Fistulariidae	2.68	0.92		0.44				2.26			
Gerreidae								4.52	2.61	1.50	2.13
Gobiidae	1.19	0.23		0.44	0.51	0.49			2.61	2.26	0.80
Haemulidae		15.63	2.63	4.61	3.04	9.27					1.86
Hemiramphidae				8.33	20.51	0.98	2.07				
Labridae	22.62	18.85	18.09	13.60	8.61	11.46	3.31	18.64	17.65	20.30	25.27
Labrisomidae	2.38	0.69	2.96	0.88	1.77	2.93	6.20	1.13	1.96	2.26	3.99
Lutjanidae		4.83		1.32	2.53	9.76	1.24		3.92	4.51	4.79
Mugilidae	2.38	2.76	4.93	18.64	0.76	3.66					4.79
Muraenidae	0.30					0.24					0.27
Pomacanthidae				0.66	0.51	1.46	1.24	1.69		1.50	1.06
Pomacentridae	44.35	53.79	60.20	41.67	40.76	36.10	59.50	49.72	53.59	54.89	39.63
Scaridae	6.25		1.97		2.78	1.95	6.20	1.69	2.61	3.01	5.05
Scorpaenidae				0.44	0.76						0.27
Serranidae	2.38	0.23	1.32	0.66	1.77	7.80	9.50	4.52	6.54	0.75	0.27
Sparidae	4.17	0.23				0.24					
Syngnathidae							0.41				
Tetraodontidae	9.52	1.15	5.92	3.07	6.58	4.63	5.37	9.04	7.19	6.77	5.59
Urolophidae			0.33	0.88							

Se determinó la dominancia de las diferentes especies y se categorizaron de acuerdo a su abundancia relativa y a su frecuencia relativa. Encontrándose cuatro

grupos que se clasificaron en especies raras, comunes, frecuentes y abundantes (Figura 33).

Las especies raras, presentaron frecuencias mensuales menores o iguales a 9.09 y abundancias relativas menores a 0.1, se distinguen: *Halichoeres nicholsi*, *Doryrhamphus excisus*, *Acanthurus triostegus*, *Chaetodon humeralis*, *Prionurus punctatus* y *Haemulon steindachneri*; donde las dos últimas, aunque se observaron solamente en un mes de monitoreo, presentan valores de abundancias mayores a los propuestos, ya que forman pequeños cardúmenes o presentan comportamiento gregario.

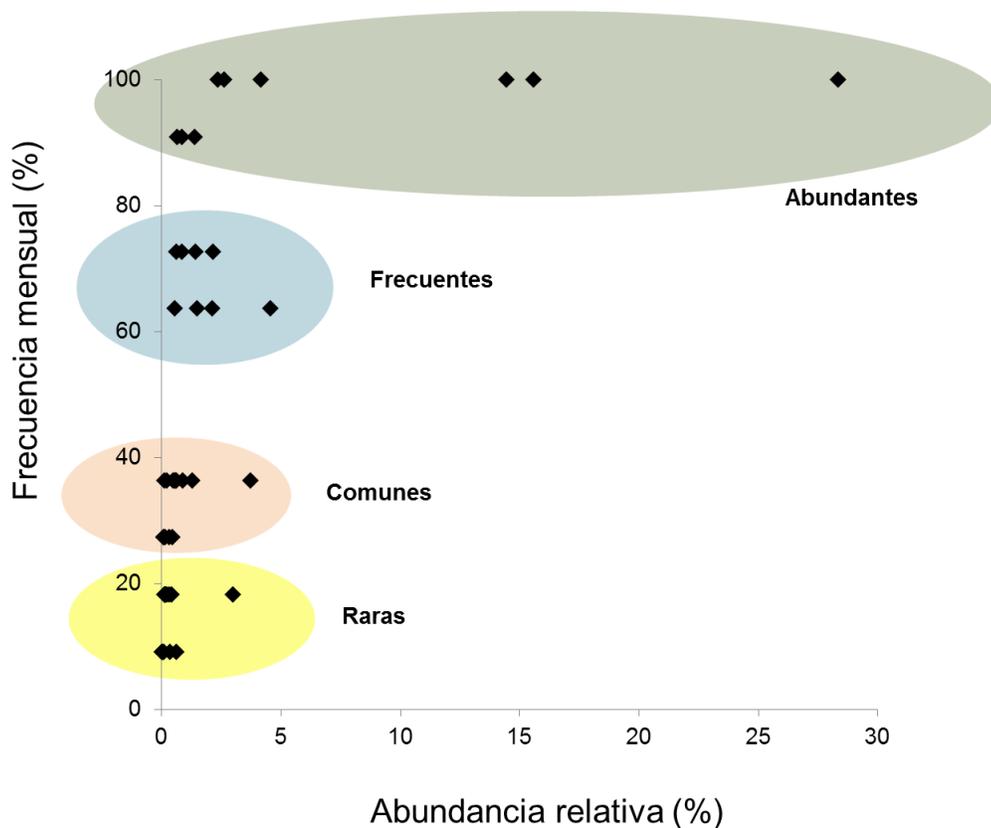


Figura 33. Dominancia de las especies de la comunidad íctica según su frecuencia mensual y abundancia relativa, observadas en la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso.

Las especies comunes, presentan valores de abundancia relativa entre 0.4 y 0.12 y una frecuencia relativa de 18.2. Estas agrupan: *Halichoeres dispilus*, *Cirrithus rivulatus*, *Bodianus diplotaenia*, *Urobatis concentricus*, *Caranx caninus*, *Apogon retrosella*, *Acanthurus xanthopterus*, *Lutjanus guttatus* y *Haemulon sexfasciatum*. Siendo la última especie una excepción por su alta abundancia, ya que se desplaza formando pequeños cardúmenes.

Las especies frecuentes se caracterizan por presentar valores de frecuencia relativa entre 36.3 y 27.3, abundancias relativas entre 0.45 y 1, indicando que se encuentran en la pradera durante tres o cuatro meses al año, en esta se asocian: *Muraena lentiginosa*, *Halichoeres chierchiae*, *Scorpaena mystes*, *Arothron meleagris*, *Calamus brachysomus*, *Pomacanthus zonipectus*, *Aulostomus chinensis*, *Scarus sp.1*, *Fistularia commersonii*, *Mycteroperca rosácea*, *Gerres cinereus*, *Haemulon maculicauda*, *Lutjanus argentiventris* y *Hemiramphus saltator*.

Las especies abundantes presentan valores de frecuencia relativa entre 63.6-100 y abundancia relativas mayores a uno; se reconocen: *Holacanthus passer*, *Hoplopagrus guentherii*, *Balistes polylepis*, *Mugil cf. cephalus*, *Gobiosoma cf. chiquita*, *Paralabrax maculatofasciatus*, *Epinephelus labriformis*, *Nicholsina denticulata*, *Diodon holocanthus*, *Sphoeroides annulatus*, *Microspathodon dorsalis*, *Labrisomus cf. xanti*, *Stegastes leucorus*, *Canthigaster punctatissima*, *Stegastes rectifraenum*, *Thalassoma lucasanum* y *Abudefduf troschelii*.

Los índices estructurales muestran una comunidad uniforme a lo largo del ciclo anual, donde no se encuentra ninguna especie altamente dominante. La riqueza específica estuvo comprendida entre 15 y 31 especies para todo el monitoreo, donde el índice de predicción del número de especies de la comunidad (Chao-1) en cada mes fue muy cercano al valor establecido por el índice, indicando que el esfuerzo de muestreo fue el adecuado. Solamente se presentó una gran diferencia con respecto al predictor en el mes de enero con un valor de 10 especies (Tabla 14).

Tabla 14. Riqueza, abundancia e índices estructurales de la comunidad íctica asociada a la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso.

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Riqueza	19	19	18	26	25	31	21	18	15	16	23
Abundancia (individuos)	336	435	304	456	395	410	242	177	153	133	376
Dominancia	0.14	0.21	0.21	0.15	0.15	0.08	0.16	0.16	0.15	0.17	0.14
Diversidad de Shannon	2.29	1.92	1.94	2.24	2.33	2.82	2.30	2.20	2.17	2.08	2.37
Uniformidad	0.78	0.65	0.67	0.69	0.72	0.82	0.76	0.76	0.8	0.75	0.75
Predictor Chao-1	19.5	24	18.75	26.6	25.75	34.33	21.5	18.2	15	16.75	33

La dominancia de la comunidad íctica varió entre 0 y 0.21, que son valores bajos para este índice y no se presentó una especie o especies que dominaran. Esto también se puede evidenciar en la uniformidad, la cual mostró valores muy altos, por encima de 0.5 y cercanos a 1, indicando que las especies presentan abundancias similares o uniformes en cada mes muestreado y confirma que no hay una especie o especies con abundancias sobresalientes.

Los valores más altos de uniformidad se presentan para el mes de julio (mayor abundancia y riqueza) y noviembre (menor abundancia y riqueza), mostrando que no hay diferencias en la distribución de las abundancias en cada uno de estos meses. Dicho de otra manera, la proporción de la abundancia entre las especies se mantiene sin importar la riqueza y abundancia mensual.

La diversidad de Shannon presenta valores medios a altos, variando entre 1.92 y 2.82. La uniformidad muestra el mismo patrón de comportamiento a lo largo del año, mientras que la dominancia un patrón inverso al observado en los otros índices, esto se debe a que la dominancia y uniformidad se interpretan de forma inversa (Figura 34). Los menores valores se registran para el mes de marzo y abril, consecuentes a la menor uniformidad y mayor dominancia.

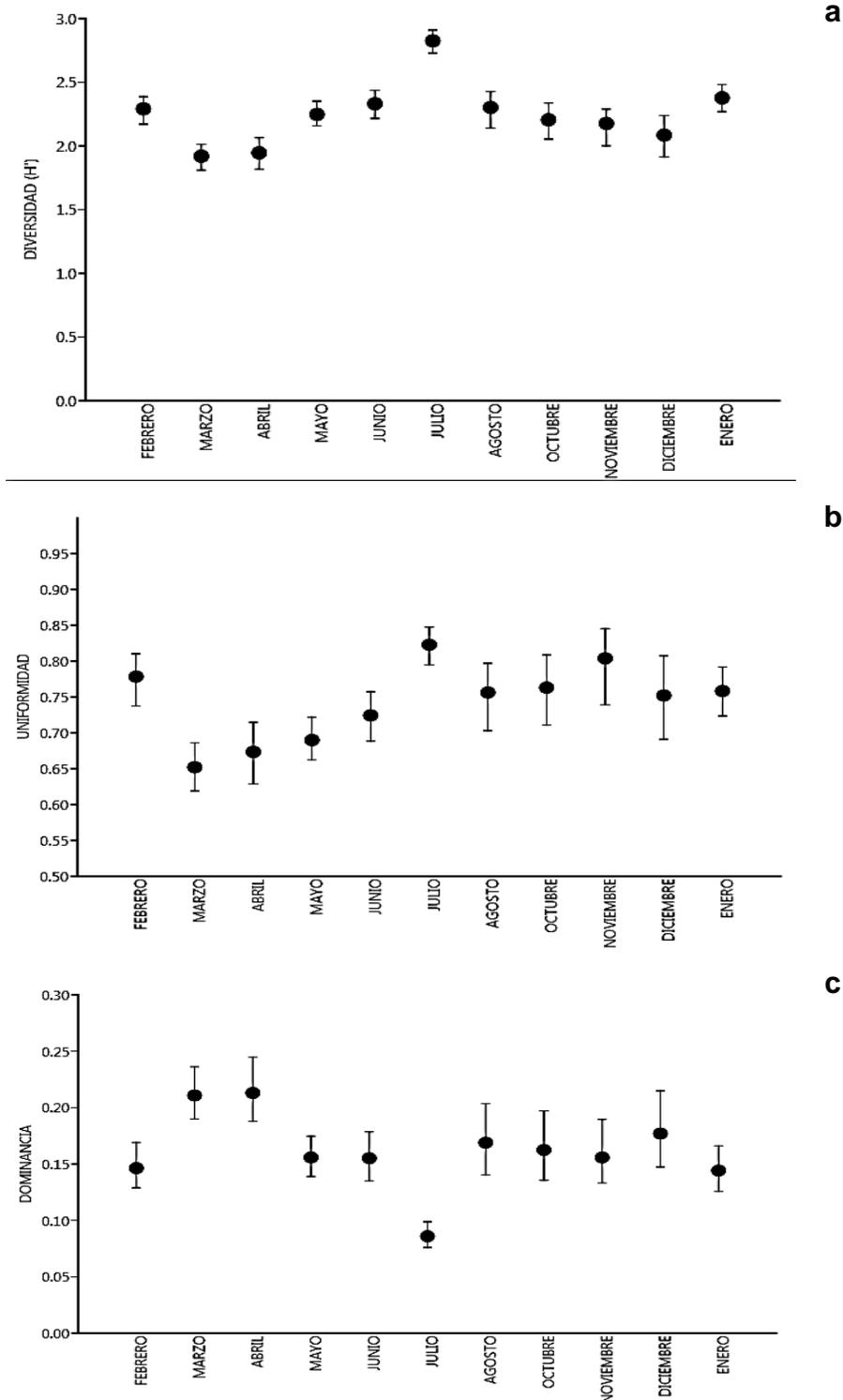


Figura 34. Índices estructurales de la comunidad íctica asociada a la pradera de *S. horridum* de Boca del Sauzoso, durante febrero de 2016 a enero de 2017 **a.** Diversidad de Shannon (H') **b.** Uniformidad de Pielou y **c.** Dominancia. El ● equivale a valor medio del índice y las I los valores máximos y mínimos, con un límite de confianza del 95%.

Considerando que la variación entre la dominancia y uniformidad en cada mes es poca, se puede inferir que los diferentes valores de diversidad están siendo más influenciados por la riqueza de especies, que por la proporción de las abundancias de cada especie en cada mes (González, 2003).

Los bajos valores de diversidad de peces se presentan en la primera generación de la pradera de *S. horridum* (marzo y abril), cuando se registra la mayor talla promedio de la macroalga. Es probable, que las grandes tallas de la pradera interfieran en los conteos y observaciones de peces durante el censo, dificultando la observación de especies, al igual que su abundancia, ya que tienen una mayor disponibilidad de espacios para esconderse o camuflarse (Suárez, 2008; Méndez, 2013).

También, el aumento de la complejidad física del lugar, puede generar ambientes que no son adecuados o propicios para otras especies que están presentes cuando las tallas de *S. horridum* son menores; razón por la cual se registran las mayores diversidades durante la segunda generación. Cuando la pradera está en un periodo de senescencia y latencia, se observa una disminución de la diversidad, sin embargo, los valores son similares a la primera época del año (primera generación).

Al realizar un análisis cluster (Bray Curtis, 0.8543) de las especies observadas, se formaron dos grandes grupos, el primero de enero a agosto y el segundo de octubre a diciembre (Figura 35), mostrando que el ensamble íctico es diferente en más del 50% en estas dos épocas del año, lo cual coincide con la presencia de la pradera de *S. horridum* o en “ausencia” del manto (Muñetón & Hernandez, 1993; Suárez, 2008) o como ya estableció en este estudio “el periodo de latencia”.

Durante la primera generación de *Sargassum*, la comunidad íctica muestra que es similar en más del 65%, separándose de los demás meses del año. A este grupo se une los meses de mayo y junio, cuando la pradera presenta su segunda

generación, indicando que la riqueza y abundancia de las especies es más similar entre estas dos épocas, que con los otros meses del año.

Finalmente, los meses en los que no hay pradera de macroalgas, la comunidad íctica presenta menor variación y muestran la mayor similitud para los meses de noviembre y diciembre.

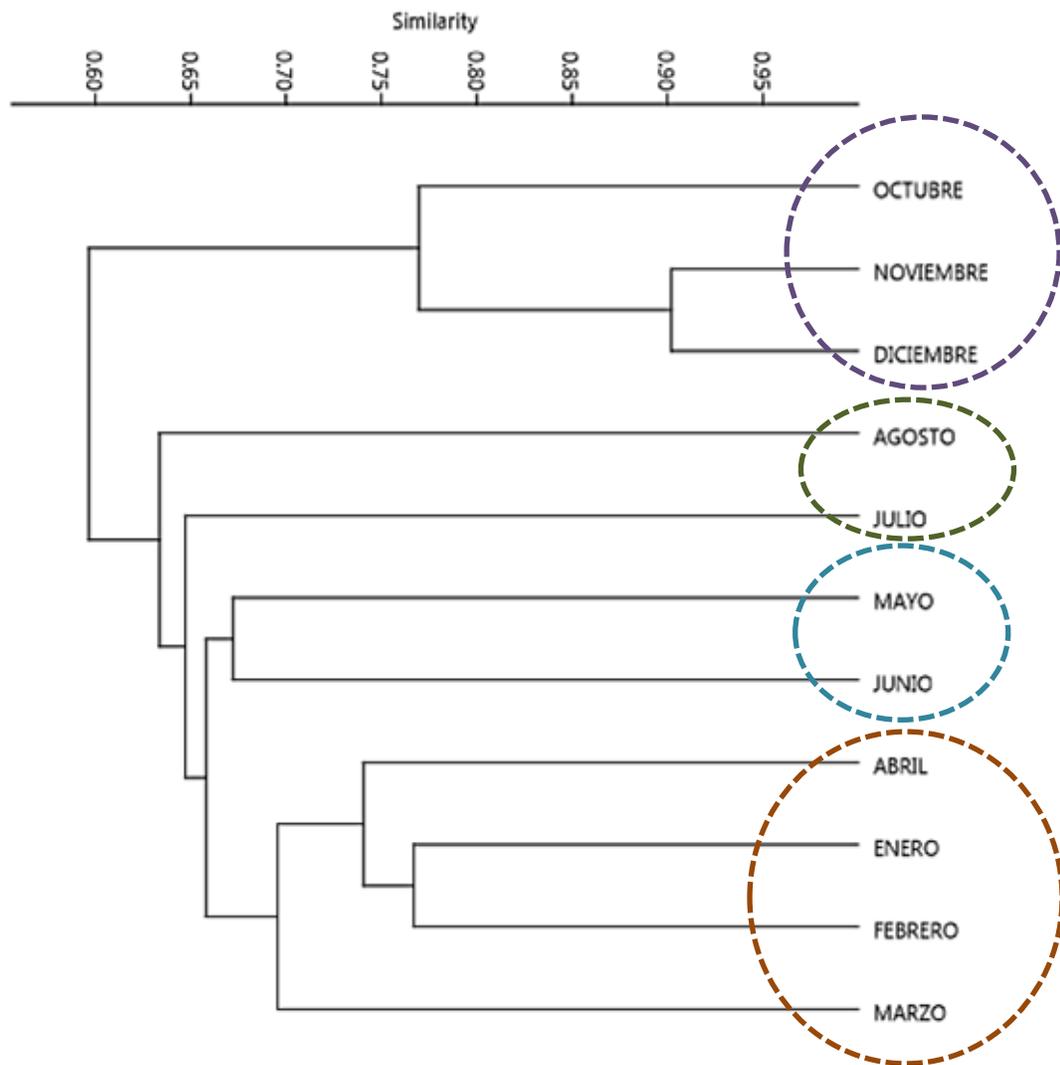


Figura 35. Dendrograma de similaridad de Bray Curtis para la comunidad íctica observada en Boca del Sauzoso. Los círculos representan los diferentes estados de desarrollo de la pradera (--- : primera generación. --- : segunda generación. --- : tercera generación y --- : latencia).

La baja dominancia encontrada, indica que no existe una clara asociación de especies o una composición específica para la pradera. Analizando la biología de los organismos se observa que su hábitat principal son los sistemas litorales, pudiéndose encontrar en otras franjas a lo largo de la bahía, sin la necesidad de la existencia de una pradera de macroalgas (Barjau, 2012; Barjau *et al.*, 2016).

Sin embargo, las especies ícticas buscan en la pradera, lugares de refugio, alimentación, protección y reproducción, ayudando a mantener sus poblaciones, sin llegar a ser un hábitat único para el desarrollo de estas. Claro está, que funciona como un hábitat de importancia para dichas especies, ya que la abundancia y riqueza del área son mayores en este ambiente, que en áreas abiertas o desprotegidas a predadores, durante la mayor parte del año (Barjau, 2012).

Un ejemplo del uso del hábitat es el registro de especies no típicas de estos ecosistemas, como *Apogon retrocella*, quien estuvo presente durante dos meses en la pradera, aunque son organismos que se desarrolla en aguas profundas, como las presentes en el norte de la bahía (Humann & Deloach, 2004; Obeso *et al.*, 2008).

El análisis de la comunidad íctica agrupa las observaciones por época de desarrollo de la pradera de *S. horridum*. La riqueza promedio específica para el periodo de latencia fue la menor (16.33 ± 1.53), seguida de la primera generación (19.75 ± 2.22). Los valores para la segunda generación y senescencia fueron iguales con 26 especies, sin embargo, sus desviaciones muestran que el ensamble íctico es menos variable durante la segunda generación (± 0.71), que durante los meses de la senescencia (± 7.07)(Figura 36).

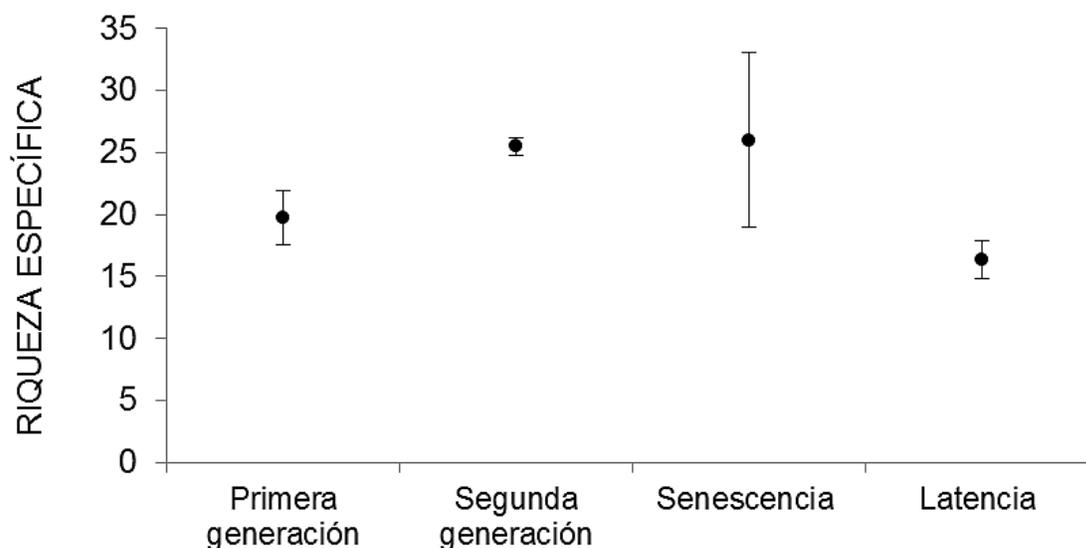


Figura 36. Riqueza específica promedio de la comunidad íctica para cada estado de desarrollo de la pradera de *S. horridum*. El ● representa la media y \pm la desviación estándar con un intervalo de confianza del 95%.

Al analizar las abundancias relativas de los grupos tróficos de la comunidad íctica, teniendo en cuenta los diferentes estados de la pradera, se observó que durante las diferentes etapas los herbívoros y omnívoros son los grupos más representativos en todo el año, con abundancias similares. El segundo grupo en importancia por su presencia y abundancia fueron los carnívoros, siendo menos abundantes durante la segunda generación de la pradera.

Los zoobentófagos fueron el tercer grupo en representatividad, los cuales fueron más abundantes durante la segunda generación de la pradera (mayo - junio) y al iniciar del estado de senescencia (julio), cuando se dan los procesos de degradación del Sargazo en el año (Figura 37).

El grupo trófico restante, los zooplanctófagos, estuvieron presentes durante los meses de mayo, junio y julio; comprendiendo la segunda generación e inicio de la senescencia. Periodo en el cuál se observó una gran cantidad de organismos

planctónicos en la columna de agua, en especial alevines de peces, todos cercanos al dosel de la pradera.

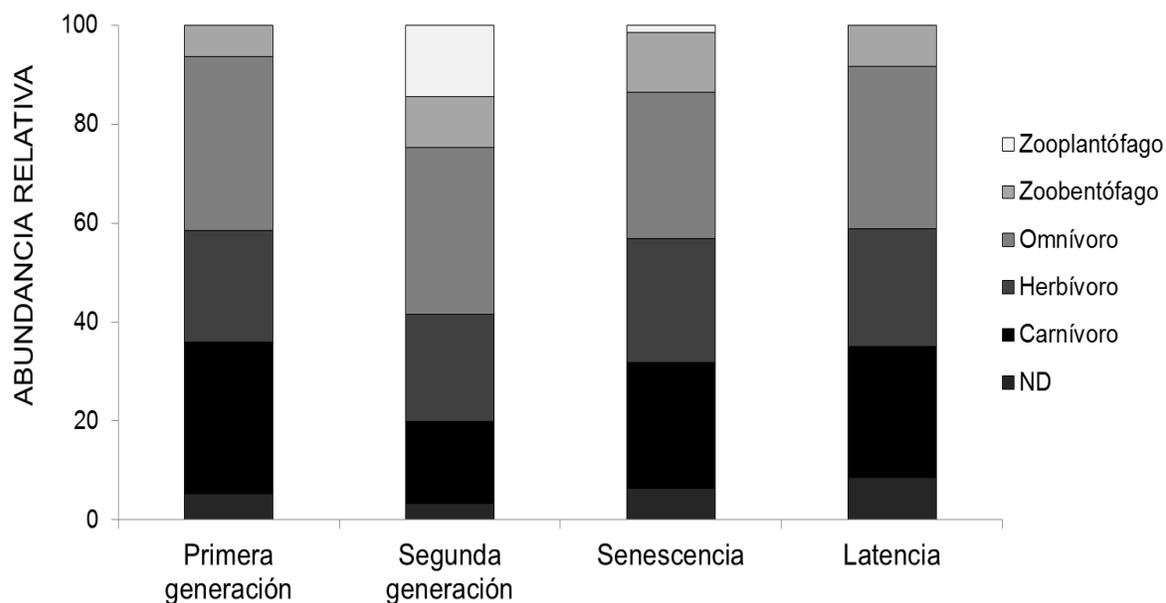


Figura 37. Abundancia relativa de cada grupo trófico de la comunidad íctica según el estado fenológico de la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso. ND corresponde a las especies que no se conoce su grupo trófico.

4.4.2 Macroalgas

La comunidad de macroalgas asociada a la pradera de *S. horridum*, estuvo compuesta por 30 especies, pertenecientes a los grupos de algas Cyanobacteria, Chlorophyta, Phaeophyceae y Rhodophyta, representadas en 14 familias y 11 ordenes (Tabla 15). Presentándose un aumento en la riqueza de siete especies, con respecto a lo evaluado en otra ocasiones para la pradera de Boca del Sauzoso (Suárez *et al.*, 2013a).

Los morfotipos Cyanobacteria sp1., *Chaetomorpha* spp. e *Hypnea* spp., se mantuvieron dentro de un solo grupo y categoría ecológica (tapetes algales), por ser filamentosas formadoras de tapetes algales, por ser difíciles de identificar taxonómicamente y para no subestimar o sobreestimar su cobertura y facilitar los análisis ecológicos.

Se registraron especies que pertenecen a todos los grupos forma-función propuestos por Littler & Littler (1983), donde las correosas y ramificadas agruparon a 7 especies cada una, las costrosas y filamentosas a 4 especies, las foliosas y calcáreas articuladas a tres especies, respectivamente (Tabla 15). El grupo que tuvo una menor frecuencia de aparición durante el año fueron las filamentosas (9 meses), mientras que los demás grupos estuvieron presentes durante todo el año, como se ha encontrado en otros ambientes del Golfo de California (Mateo *et al.*, 1993).

La riqueza relativa total de la comunidad de macroalgas para cada grupo funcional fue mayor para las correosas con 28%, seguido de las ramificadas con 24%, costrosa y filamentosa 14%, mientras que el menor aporte de especies fue por parte de las calcáreas articuladas y foliosas un 10% cada una.

El mayor aporte de especies fue por parte del grupo Rhodophyta con 19 especies, que representan el 64% de la riqueza total, seguido de Phaeophyceae con 6

especies (20%), Chlorophyta con 4 especies (13%), mientras que el menor aporte fue de una especie de Cyanobacteria (3%) (Riosmena *et al.*, 2017).

Tabla 15. Composición específica de la comunidad de macroalgas asociadas a la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso durante febrero 2016 a enero 2017. Donde * corresponde a las especies que forman tapetes algales.

Grupo	Orden	Familia	Especie	Grupo funcional
Cyanobacteria	-	-	sp1*	Filamentosa
Chlorophyta	Bryopsidales	Caulerpaceae	<i>Caulerpa sertularioides</i>	Filamentosa
		Codiaceae	<i>Codium cuneatum</i>	Ramificada
	Ulvales	Ulvaceae	<i>Chaetomorpha</i> sp.1*	Filamentosa
			<i>Enteromorpha</i> spp.	Foliosa
Phaeophyceae	-	-	sp.1*	Filamentosa
	Dictyotales	Dictyotaceae	<i>Dictyota dichotoma</i>	Foliosa
			<i>Dictyota flabellata</i>	Foliosa
			<i>Padina</i> spp.	Correosa
	Ectocarpales	Scytosiphonaceae	<i>Colpomenia sinuosa</i>	Correosa
			<i>Hydroclathrus clathrathrus</i>	Correosa
	Bonnemaisoniales	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis taxiformis</i>	Ramificada
	Ceramiales	Rhodomelaceae	<i>Acanthophora specifera</i>	Ramificada
			<i>Chondria</i> sp.	Ramificada
			<i>Digenea simplex</i>	Correosa
<i>Laurencia</i> spp.			Ramificada	
<i>Spyridia filamentosa</i>			Filamentosa	
Rhodophyta	Corallinales	Corallinaceae	<i>Amphiroa</i> spp.	Calcárea articulada
			cf. <i>Lithophyllum</i>	Costrosa
			cf. <i>Lithothamnion</i>	Costrosa
			cf. <i>Neogoniolithon</i>	Costrosa
			sp.1	Costrosa
	<i>Jania</i> spp.	Calcárea articulada		
	Gelidiales	Gelidiaceae	<i>Gelidium</i> spp.	Correosa
	Gigartinales	Cystocloniaceae	<i>Hypnea</i> spp.*	Filamentosa
		Solieriaceae	<i>Sarcodiotheca</i> sp.	Ramificada
	Gracilariales	Gracilariaceae	<i>Gracilaria pachydermatica</i>	Correosa
<i>Gracilaria spinigera</i>			Correosa	
Nemaliales	Galaxauraceae	<i>Galaxaura rugosa</i>	Calcárea articulada	
	Liagoraceae	<i>Liagora californica</i>	Ramificada	

Las especies con mayores frecuencias en el año fueron Corallinaceae sp.1 estando presente durante 11 meses, seguida de *Amphiroa* spp., cf. *Lithothamnion*, *Dictyota dichotoma* con una frecuencia de diez meses y cf. *Neogoniolithon* con nueve meses. Las menos frecuentes fueron *Sarcodiotheca* sp., *Asparagopsis taxiformis*, *Enteromorpha* spp., *Liagora californica*, *Chondria* sp., *Digenea simplex* y *Colpomenia sinuosa* con dos meses de frecuencia.

Para clasificar el grado de dominancia de las especies, se graficó la frecuencia relativa mensual con la abundancia relativa total, determinando que *Dictyota dichotoma*, cf. *Lithothamnion*, *Amphiroa* spp., Corallinaceae sp.1 son las más abundantes incluyendo al tapete algal, aunque su frecuencia es menor a las demás especies y presenta una cobertura alta cuando la pradera está en senescencia y en periodo de latencia (Figura 38).

Dentro de la categoría de frecuentes se agruparon a *Dictyota flabellata*, *Gracilaria spinigera*, *Laurencia* spp., *Acanthophora specifera*, *Caulerpa sertularioides*, *Gelidium* spp., cf. *Neogoniolithon*. Las especies comunes fueron *Spyridia filamentosa*, Phaeophyceae sp.1, *Hydroclathrus clathrathrus*, *Codium cuneatum*, *Galaxaura rugosa*, *Padina* spp., *Gracilaria pachydermatica*, cf. *Lithophyllum* y *Jania* spp. Estas estuvieron presentes de 3 a 6 meses del año, con coberturas totales hasta del 6%.

Por último, las especies raras de la comunidad fueron *Colpomenia sinuosa*, *Digenea simplex*, *Chondria* sp., *Enteromorpha* spp., *Liagora californica*, *Asparagopsis taxiformis* y *Sarcodiotheca* sp., con frecuencias de 1 o 2 meses y abundancias relativas muy bajas.

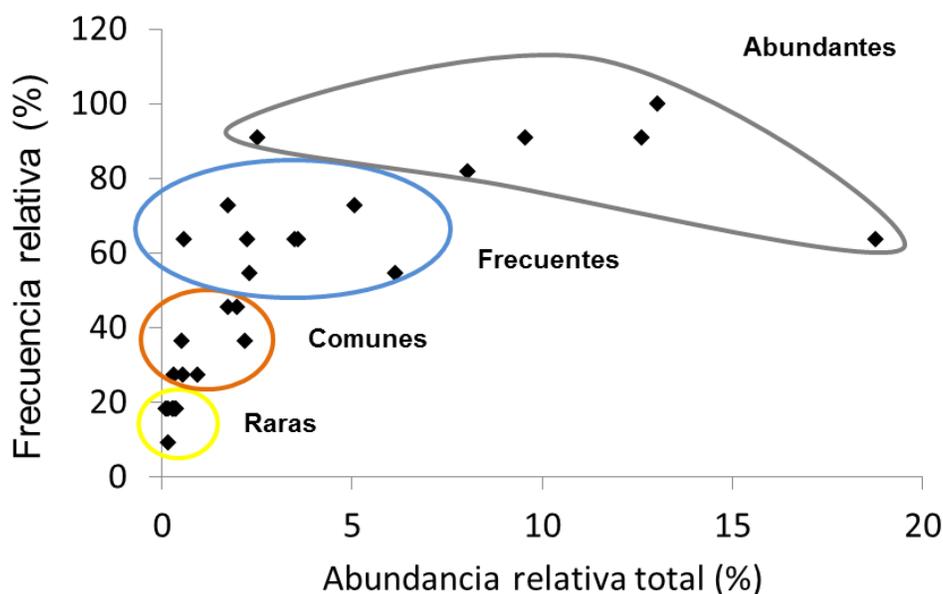


Figura 38. Dominancia de las especies de la comunidad de macroalgas según su frecuencia mensual y abundancia relativa, observadas en la pradera de *S. horridum*.

Las especies más abundantes a lo largo del año fueron Tapete algal (*Cyanobacteria* sp1., *Chaetomorpha* spp. e *Hypnea* spp) con una cobertura del 19%, Corallinaceae sp.1 con 13%, *Amphiroa* spp. (13%), cf. *Lithothamnion* (10%), cf. *Neogoniolithon* (8%) y *Jania* spp. (6%). Mientras que las menores coberturas fueron para *Enteromorpha* spp., *Liagora californica* ambas con 1%, *Colpomenia sinuosa*, *Chondria* sp. con 0.6% cada una y *Digenea simplex* con valores de 0.4% (Figura 39).

El grupo funcional más abundante en la pradera de *S. horridum*, son las costrosas con una cobertura total del 34%, seguido de las calcáreas articuladas y filamentosas (Figura 40). Estuvieron presentes a lo largo de todo el año, donde las costrosas presentaron poca variación a lo largo del año, debido a su lento crecimiento y persistencia en el ambiente (Littler & Littler, 1983).

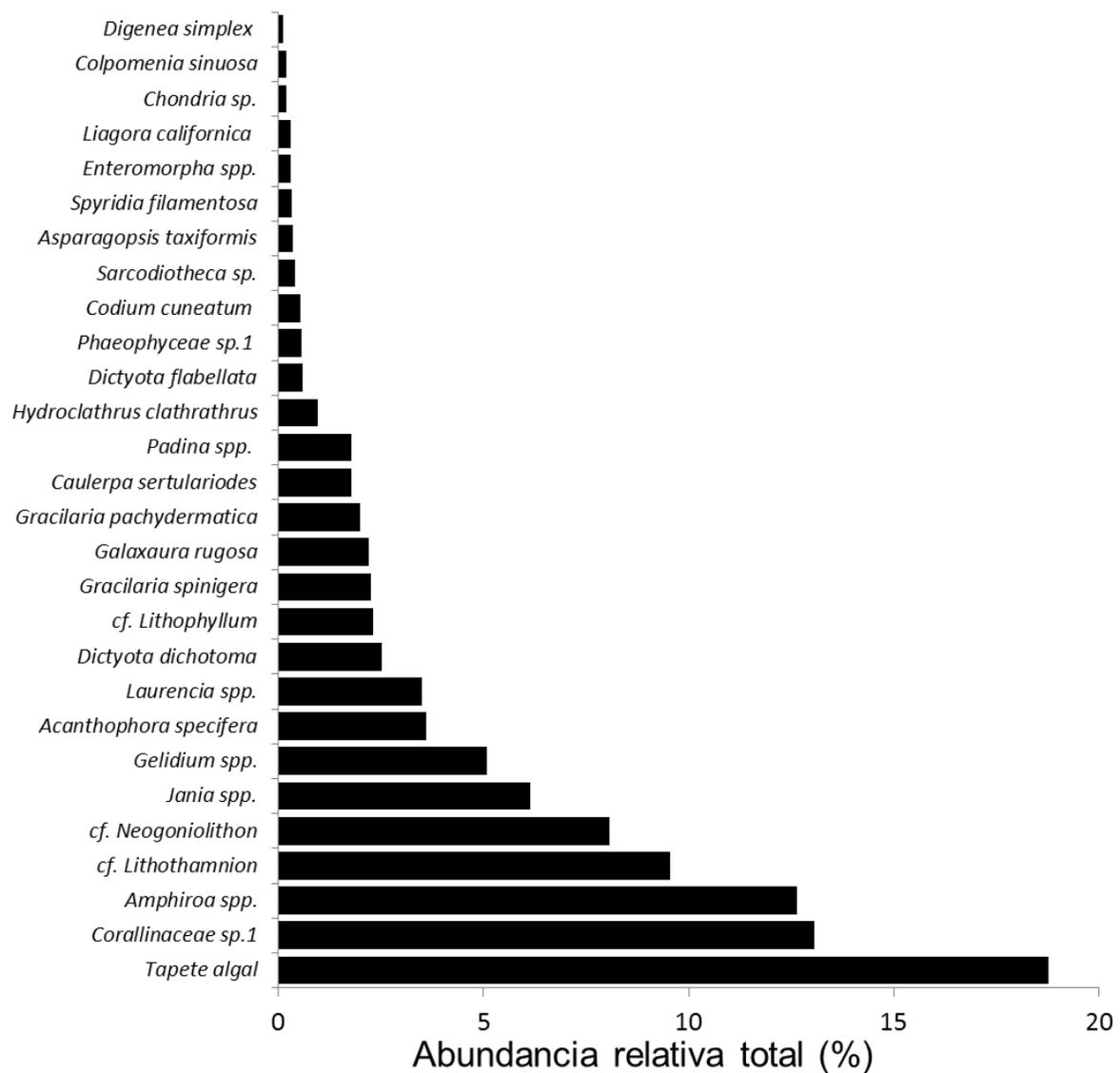


Figura 39. Abundancia relativa global de las especies de macroalgas registradas en la pradera de Boca del Sauzoso, durante febrero 2016 a enero 2017.

Las familias Corallinaceae, Dictyotaceae y Rhodomelaceae fueron las más frecuentes a lo largo del año, estando presente más de diez meses al año. Estas también registran las mayores coberturas para la pradera de macroalgas, incluyendo al morfotipo tapete algal, que estuvo presente durante ocho meses (Tabla 16).

Otras familias de importancia en la comunidad son Caulerpaceae, Galaxauraceae, Gelidiaceae, Gracilariaceae y Scytosiphonaceae, presentando variaciones a lo largo del año, presentes hasta ocho meses en la pradera, siendo más abundantes durante los meses de abril a junio, estas familias presentan una correlación positiva con la cobertura de *S. horridum*, cuando una aumenta la otra lo hace también.

Las familias con menor importancia relativa y abundancia de la comunidad fueron Bonnemaisoniaceae, Liagoraceae y Solieriaceae, estando presentes durante dos meses del año, cada una representada por una especie. Tampoco se encuentran simultáneamente en la pradera, se presentan de forma consecutiva durante la segunda generación y senescencia de la pradera de *S. horridum*.

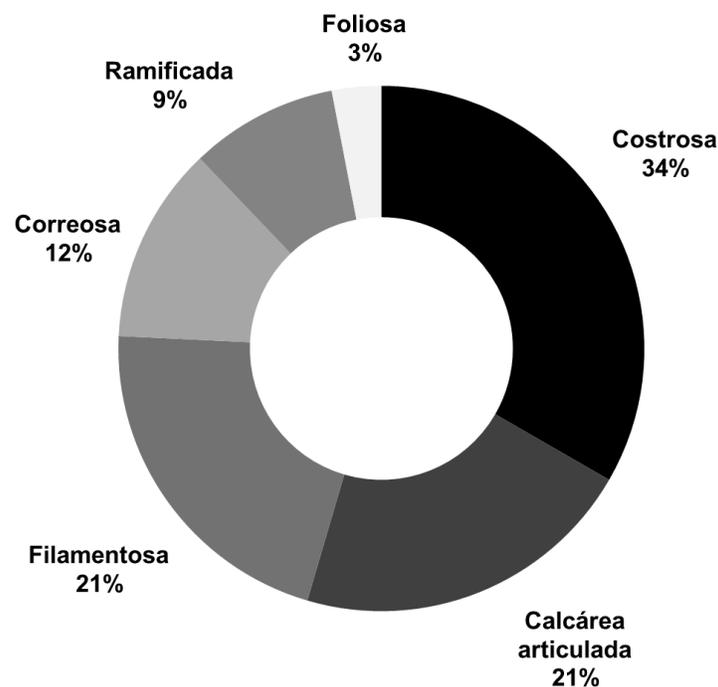


Figura 40. Abundancia relativa total de los grupos funcionales forma-función presentes en la comunidad de macroalgas de la pradera de *S. horridum* de Boca del Sauzoso.

Los índices estructurales muestran una comunidad moderadamente uniforme y diversa durante la primera parte del año; mientras que al final del año la dominancia aumenta y la diversidad y uniformidad disminuyen gradualmente (Tabla 17).

La riqueza específica fue mayor en mayo con 20 especies, mientras que, en diciembre se encontraron solo 7 especies. Durante mayo se presenta la segunda generación de la pradera de *S. horridum* con grandes coberturas y tallas medias, permitiendo a la comunidad de macroalgas aumentar su riqueza. Sin embargo, un aumento en la talla y el dosel formado por sargazo, disminuye esta riqueza, posiblemente por el cubrimiento de la superficie que no permite el ingreso directo de la luz al fondo marino, como sucede en marzo (Muñeton, 1989; Suárez, 2008; Méndez, 2013; Suárez *et al.*, 2013a).

El índice predictor del número de especie Chao-1, muestra los mismos valores de la riqueza específica, indicando que el esfuerzo de muestreo fue adecuado para la comunidad; con excepción de enero en donde se encontraron 15 de las 22 especies esperadas.

Las variaciones de la diversidad, dominancia y uniformidad muestran que la comunidad de macroalgas se mantiene homogénea la mayor parte del año (Figura 41). La uniformidad presentó valores altos para los meses de enero a noviembre por encima de 0.5, considerando que la comunidad no presenta especies con abundancias sobresalientes. Esto no sucede en el mes de diciembre donde el valor de uniformidad es de 0.488 y la dominancia tiene su mayor valor con 0.58, por la dominancia del morfotipo tapete algal, el cual presenta una cobertura superior a las demás especies en este mes.

La diversidad es baja para el mes de diciembre por la alta dominancia y baja uniformidad con un valor de 0.99. Los demás meses del año presentaron diversidades altas con valores de 1.57 hasta 2.77, siendo más alta en el mes de mayo, cuando la cobertura de *S. horridum* es mayor durante la segunda generación. Durante el primer semestre del año la diversidad es menor en marzo (1.97), ya que las especies se ven afectadas por la cobertura y talla de *S. horridum*.

Tabla 16. Abundancia relativa mensual (%) por familias de la comunidad de macroalgas asociada a una pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso durante el 2016.

Familia	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Bonnemaisoniaceae							3.54	0.35			
Caulerpaceae	2.6		0.24			4.39	1.61	1.75	4.85	1.51	2.99
Codiaceae	2.6		0.48	1.82	2.17						
Corallinaceae	52.6	78.33	44.44	40.10	45.13	80.41	63.99	40.21	40.13	14.8	74.73
Dictyotaceae	11.04	3.42	8.45	10.30	11.19	1.69	3.22	2.1	1.62	0.6	2.45
Galaxauraceae	7.14		11.11	2.42	2.89						
Gelidiaceae	5.84	9.51	9.9	11.52	1.81	3.04	4.82				7.61
Gracilariaceae		4.18	8.45	3.33	15.52	2.36	3.22	3.85		2.42	1.36
Liagoraceae				2.12	1.08						
Rhodomelaceae	16.23	2.66	13.04	15.76	10.83	3.38		5.24	3.24	4.83	7.61
Scytosiphonaceae			1.45	2.12	6.86	2.03					
Solieriaceae		1.9	1.93								
Spyridiaceae				1.52					1.62	0.3	
Tapete algal			0.48	9.09		2.7	19.61	46.5	48.54	75.53	3.26
Ulvaceae	1.95				2.53						

Tabla 17. Riqueza, abundancia e índices estructurales de la comunidad de macroalgas asociada a la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso.

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Riqueza	14	11	16	20	18	14	11	8	10	7	15
Abundancia (cobertura)	15.4	26.3	41.4	33	27.7	29.6	31.1	28.6	30.9	33.1	36.8
Dominancia	0.12	0.18	0.09	0.07	0.08	0.17	0.15	0.28	0.27	0.58	0.15
Diversidad de Shannon	2.32	1.97	2.53	2.77	2.65	2.07	2.05	1.57	1.74	0.94	2.12
Uniformidad	0.88	0.82	0.91	0.92	0.91	0.78	0.85	0.75	0.75	0.48	0.78

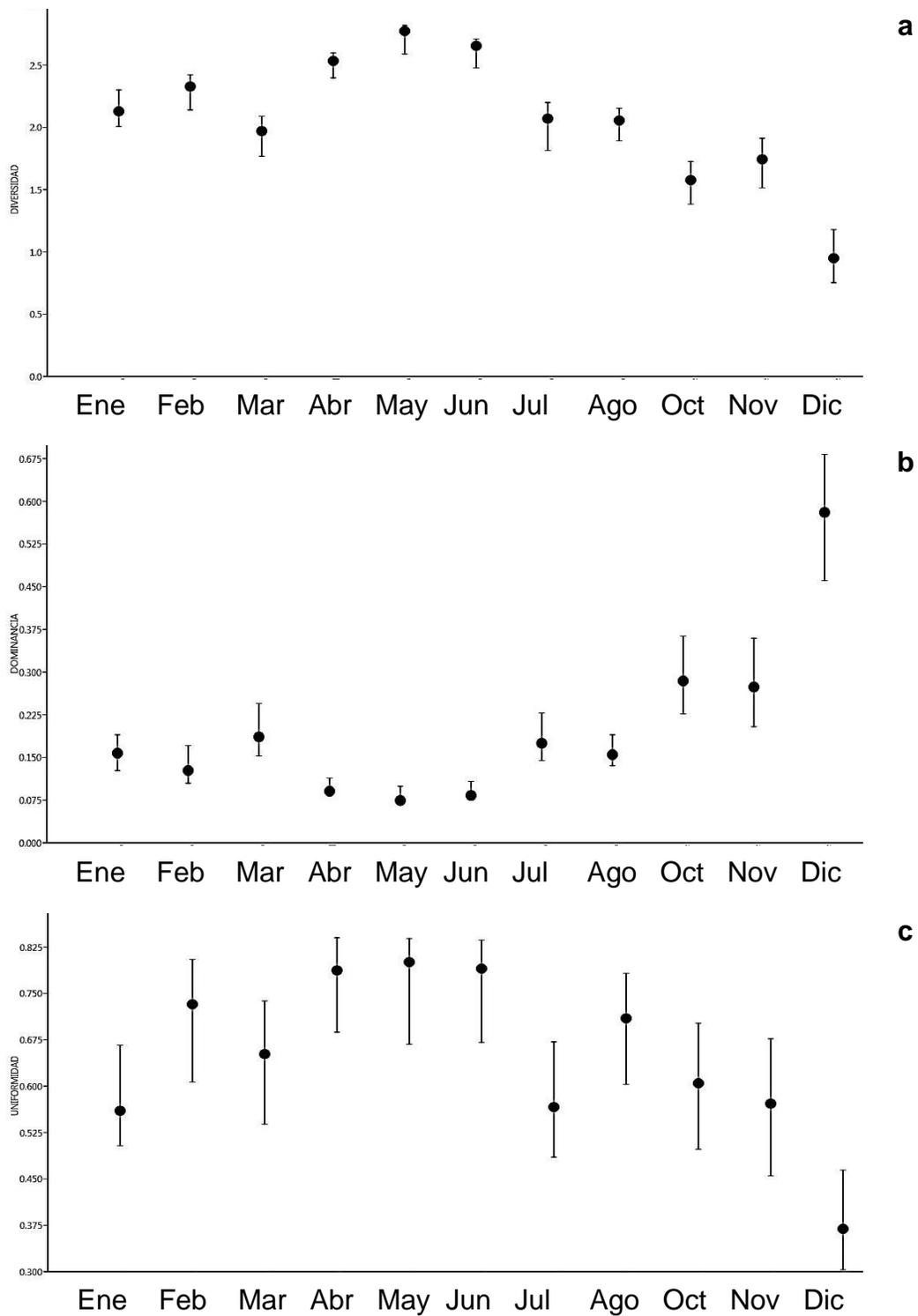


Figura 41. Índices estructurales de la comunidad de macroalgas de Boca del Sauzoso, presentes de febrero de 2016 a enero de 2017 **a.** Diversidad de Shannon (H') **b.** Dominancia y **c.** Uniformidad de Pielou. El \bullet equivale a valor medio del índice y las \pm los valores máximos y mínimos, con un límite de confianza del 95%.

Se realizó un análisis clasificatorio usando el índice de similaridad de Bray Curtis, con un coeficiente de correlación de 0.75 (Figura 42). Al igual que la comunidad íctica, las macroalgas también muestran una clara diferenciación (>50%) en la riqueza y abundancia formando dos grandes grupos en el año, asociados al desarrollo de la macroalga dominante; el primero cuando está presente *S. horridum* y el otro durante su periodo de latencia, en los meses de octubre a diciembre.

Dentro del primer grupo, formado al inicio del año, se separa claramente el periodo de senescencia (julio-agosto) de la primera y segunda generación (enero-junio) de *S. horridum*, indicando que el ensamble de macroalgas es diferente hasta en un 50% en estos dos periodos. La comunidad macroalgal no presenta una clara diferenciación o agrupación de la primera y segunda generación, ya que la comunidad macroalgal es similar en composición y abundancia durante todo este periodo.

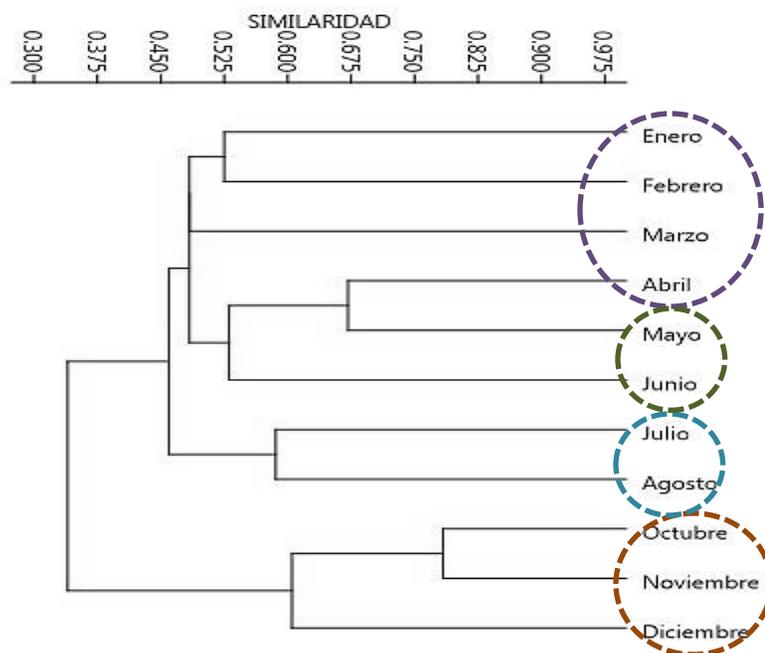


Figura 42. Dendrograma de similaridad de Bray Curtis para la comunidad de macroalgas observada en Boca del Sauzoso. Los círculos representan los diferentes estados de desarrollo de la pradera (--- : primera generación. --- : segunda generación. --- : tercera generación y --- : latencia).

Considerando el estado de la pradera de *S. horridum*, las variaciones de los grupos funcionales forma-función, muestran claras relaciones con la presencia o no del manto, cambiando la riqueza y abundancia de cada categoría a lo largo del año (Figura 43). Las filamentosas aumentaron la riqueza y abundancia durante la senescencia y latencia de *S. horridum*, siendo más alto en el último periodo, por la desaparición del manto (Figura 44). La senescencia convierte el talo en sustrato disponible para dichas algas, la disponibilidad de sustrato y la falta de cobertura por otras macroalgas le permiten a este grupo dominar en la pradera a final de año (Littler & Littler, 1985).

Las costrosas presentaron poca variación en su riqueza, mientras que la abundancia presentó un incremento durante la época de senescencia, al comenzar a quedar libre el sustrato, es más fácil poder observar a estos organismos y al mismo tiempo pueden ocupar sustrato disponible. Sin embargo, los cambios no son tan marcados a lo largo del año por su lenta tasa de crecimiento (Littler & Littler, 1983).

El grupo forma función de las ramificadas y correosas muestran una fuerte relación con el desarrollo de la pradera de *S. horridum*. Al aumentar la cobertura de esta durante la segunda generación, también lo hace la riqueza y abundancia de este grupo funcional. Cuando *S. horridum* entra en senescencia y latencia, las ramificadas disminuyen sus coberturas, posiblemente dichas algas se benefician del refugio aportado por el manto de sargazo, pudiendo aumentar su cobertura (Pavia & Toth, 2008).

Las calcáreas articuladas, presentan una mayor riqueza durante la primera y segunda generación de *S. horridum*, mientras que la abundancia es mayor en la primera generación y disminuye al pasar a la segunda generación, ya que la mayoría de sustrato disponible es ocupado por *S. horridum*, cuando el sustrato comienza a estar disponible, su abundancia aumenta, sin embargo a final del año

las especies de este grupo están casi ausentes debido a la alta temperatura superficial del mar.

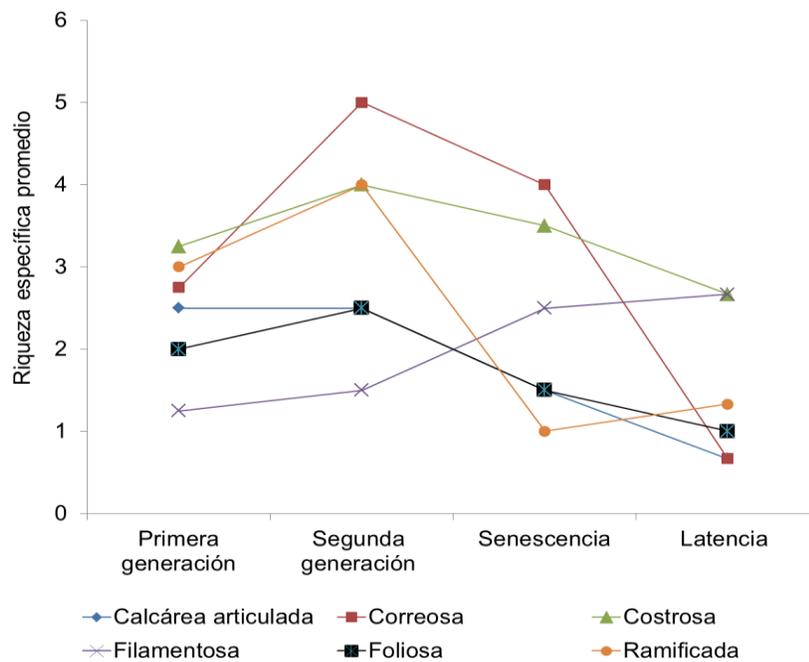


Figura 43. Riqueza específica promedio de la comunidad de macroalgas para cada estado de desarrollo de la pradera de *S. horridum*.

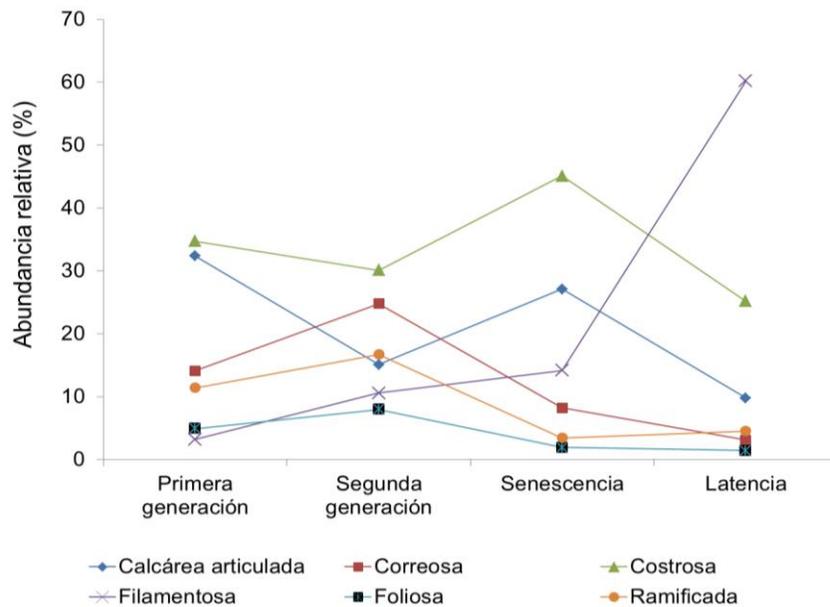


Figura 44. Abundancia relativa de cada grupo funcional forma-función de la comunidad de macroalgas según el estado fenológico de la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso.

4.5 Relación entre la comunidad asociada y la composición química elemental de *S. horridum*

Para determinar las posibles relaciones entre el contenido de elementos químicos o nutrientes del talo de *S. horridum* y las comunidades asociadas de peces y macroalgas, inicialmente se realizó un análisis de correlaciones múltiples, donde se tuvo relevancia por las relaciones presentes entre estos dos grupos de variables.

Las comunidades fueron evaluadas a través de la riqueza y abundancia de los grupos tróficos para la comunidad íctica y grupos funcionales forma-función para las macroalgas asociadas, dado que esta clasificación es la que mejor muestra las relaciones existentes con el contenido de nutrientes del talo de *S. horridum*, también se tuvo en cuenta que cada categoría incluyera organismos identificados con el mismo nivel taxonómico para mejorar la calidad del análisis (Littler & Littler, 1985; Sale, 1991; Suárez, 2008).

Para la comunidad íctica, se observó que para algunos grupos existen correlaciones significativas, teniendo en cuenta un $r^2 \geq 0.6$ (Figura 45). La abundancia y riqueza de los peces zoobentófagos presentó una correlación significativa y positiva con el Ca, el aumento en el contenido de calcio del talo está asociado a su edad y producción de polisacáridos de alto peso molecular, como el alginato (Di Filipo, 2014).

Una pradera madura con una alta cobertura y talla, alberga un mayor número de individuos de otros phyla que pueden ser alimento de estos peces; incrementando sus abundancias con la madurez de la pradera (Suárez, 2008; Méndez, 2013; Suárez *et al.*, 2013a; Di Filipo, 2014). Se debe tener en cuenta que el contenido de Ca del talo es mayor durante la senescencia, cuando la pradera comienza a desaparecer y soporta alta abundancia de invertebrados y otros organismos.

La riqueza de los herbívoros presentó una correlación positiva con el contenido de N y negativa con el Na, al haber mayores compuestos estructurales en el talo la riqueza es mayor; sin embargo, cuando elementos formadores de sales como el Na aumentan, su contenido afecta negativamente esta riqueza (Granado & Caballero, 2001).

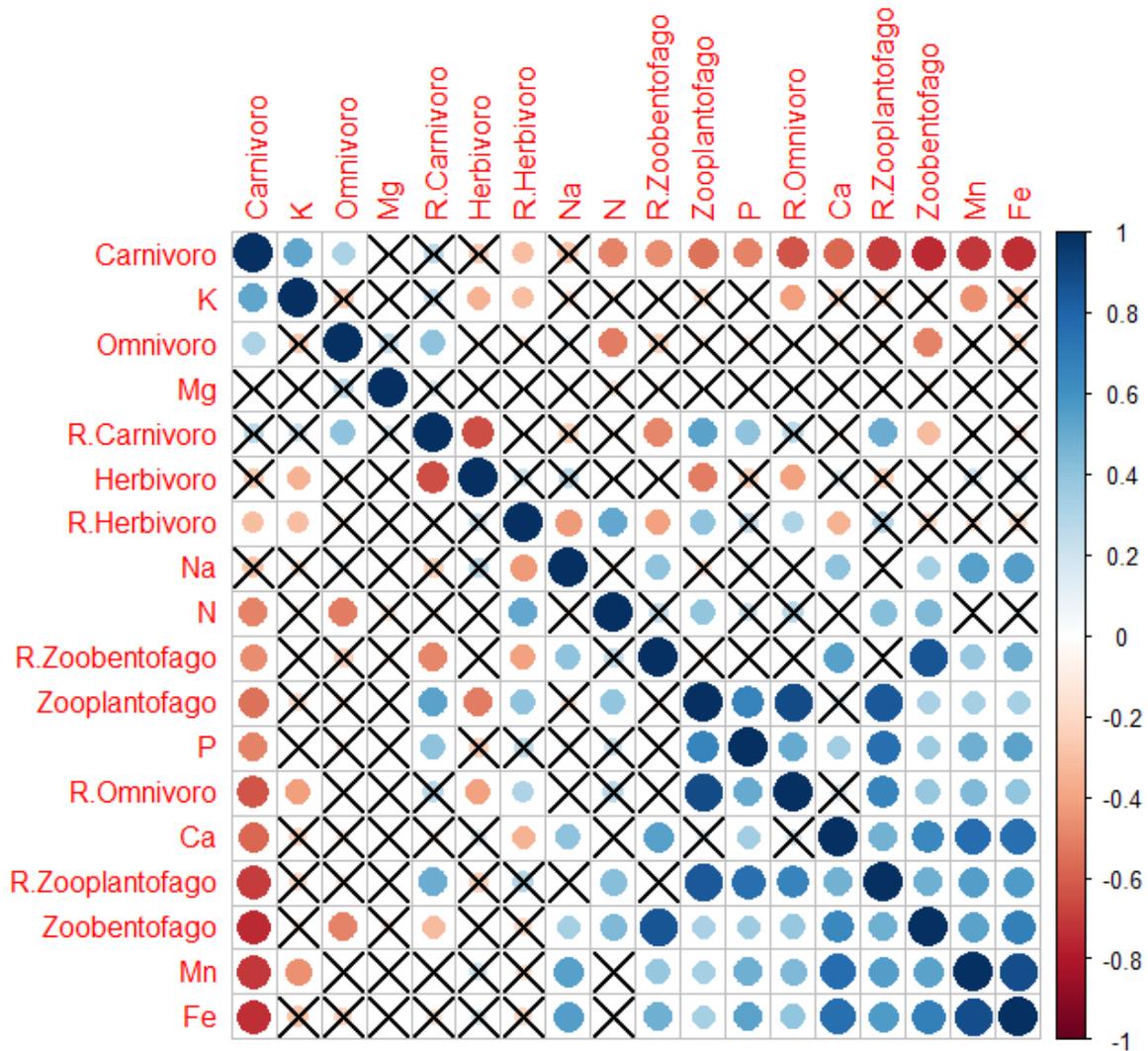


Figura 45. Correlación múltiple de la riqueza y abundancias de los grupos tróficos de la comunidad íctica con el contenido de nutrientes en el talo de *S. horridum*, para la pradera de Boca del Sauzoso. La R. indica la riqueza de cada grupo. Las X indican que no hay una correlación significativa, el tamaño del círculo muestra el nivel de la correlación y el color si la correlación es negativa o positiva, según la escala.

La abundancia de zooplanctófagos se correlaciona positivamente con el P, mientras que la riqueza lo hace en el mismo sentido con el P, Fe y Mn. La relación existente entre estas variables está dada por el aumento de plancton que se da en la pradera después de ocurrir los procesos de senescencia, los cuales aportan nutrientes al agua, como el P, factor limitante en el desarrollo del fitoplancton. Dando como resultado un aumento en la abundancia de consumidores primarios del plancton, lo cual genera un aumento de la riqueza y abundancia de sus predadores (Lobban & Harrison, 1997; Verdugo *et al.*, 2014).

También este aumento en el plancton, está asociado a los procesos reproductivos de algunos peces arrecifales, los cuales aprovechan el aumento del dosel de *S. horridum* para desovar (Suárez *et al.*, 2013a), justo cuando se da el aumento en el contenido de P, Fe y Mn en el talo. Este ciclo genera un aumento en el número de larvas y alevines presentes en la columna de agua, atrayendo a peces zooplanctófagos (Sale, 1991).

La relación trófica dentro de estos dos grupos de variables está dada por el aumento de plancton, que tiene lugar en la pradera cuando la cobertura y talla de *S. horridum* es alta, por las zonas de refugio que proporciona el dosel para los organismos planctónicos. Al haber un mayor desarrollo y madurez de la pradera estos elementos se presentan en mayor cantidad ya que hacen parte fundamental de las estructuras del talo.

La abundancia de carnívoros fue el atributo que más correlaciones negativas presentó con el contenido de nutrientes, N, P, Ca, Mn, Fe. La abundancia de este grupo se ve afectada por el desarrollo de la pradera, ya que son más abundantes durante la primera y segunda generación, cuando la pradera de *S. horridum* crece rápidamente y alcanza su madurez; presentando un mayor contenido de nutrientes con la edad del talo. En la Tabla 18 se resumen las correlaciones significativas descritas anteriormente.

Tabla 18. Correlaciones significativas con $r^2 \geq 0.6$, entre el contenido de nutrientes y la riqueza y abundancia de los grupos tróficos de la comunidad íctica asociados a la pradera de *S. horridum* de Boca del Sauzoso. La R indica la riqueza del grupo.

Grupo trófico	Positiva	Negativa
Carnívoros	K	N, P, Ca, Mn, Fe
Omnívoros		N
R. Omnívoros	P	
R. Herbívoros	N	Na
Zoobentófago	Ca	
R. Zoobentófago	Ca	
Zooplanctófago	P	
R. Zooplanctófago	P, Fe, Mn	

Para la comunidad de macroalgas asociadas a la pradera de *S. horridum*, también se tuvieron en cuenta las correlaciones con $r^2 \geq 0.6$ (Figura 46). Para el grupo funcional de las filamentosas no se encontraron correlaciones con ningún tipo de nutriente. La única riqueza de los grupos funcionales que mostró una correlación negativa fue para las costrosas y el contenido de K en el talo de *S. horridum*. Al aumentar la cobertura, se desarrolla de la pradera, también lo hacen lo hacen los procesos metabólicos del alga y aumentan los requerimientos de K en el talo, disminuye la riqueza de las costrosas, probablemente por la competencia por sustrato, disponibilidad de luz (Stachowicz, 2001; Pereira & Gama, 2008).

Las abundancias de los grupos funcionales foliosas y ramificadas, mostraron correlaciones positivas con el contenido de N, ya que las especies de estos grupos se benefician con el desarrollo de la pradera y el aumento de compuestos estructurales. Mientras que las articuladas disminuyen su abundancia cuando aumenta el contenido de Ca, Fe y Mn en el talo, ya que son más abundantes durante la primera y segunda generación de la pradera. Al crecer el talo también puede aumentar la captación de estos elementos afectando la abundancia de este

grupo funcional que requiere de Ca y Mn para formar sales y compuestos estructurales y poder crecer.

Áreas dominadas por macroalgas con baja palatabilidad como el caso de *S. horridum*, proveen diversos microhábitats, que reducen la intensidad del pastoreo, permitiendo el crecimiento y desarrollo de algunas especies, cambiando la riqueza y abundancia de la comunidad (Hay, 1985; Stachowicz, 2001; Barjau *et al.*, 2016).

Las macroalgas mostraron menos relaciones comparados a la comunidad íctica (Tabla 19), probablemente por el tipo de relación entre esta comunidad y el talo de *S. horridum*. Las macroalgas se regulan entre sí a través de compuestos químicos que se disuelven rápidamente en el medio acuático o que se encuentran en concentraciones muy bajas en las células, dificultando encontrar esas relaciones.

Se realizó un análisis de componentes principales incluyendo todos los grupos tróficos de la comunidad íctica, los grupos funcionales de las macroalgas y el contenido de nutrientes en el talo de *S. horridum*, determinando que ningún nutriente por sí solo explica la variación de la abundancia y la riqueza de la comunidad íctica y de macroalgas, si no por el contrario, los grupos de estos afectan de formas diferentes a dichos atributos (Figura 47).

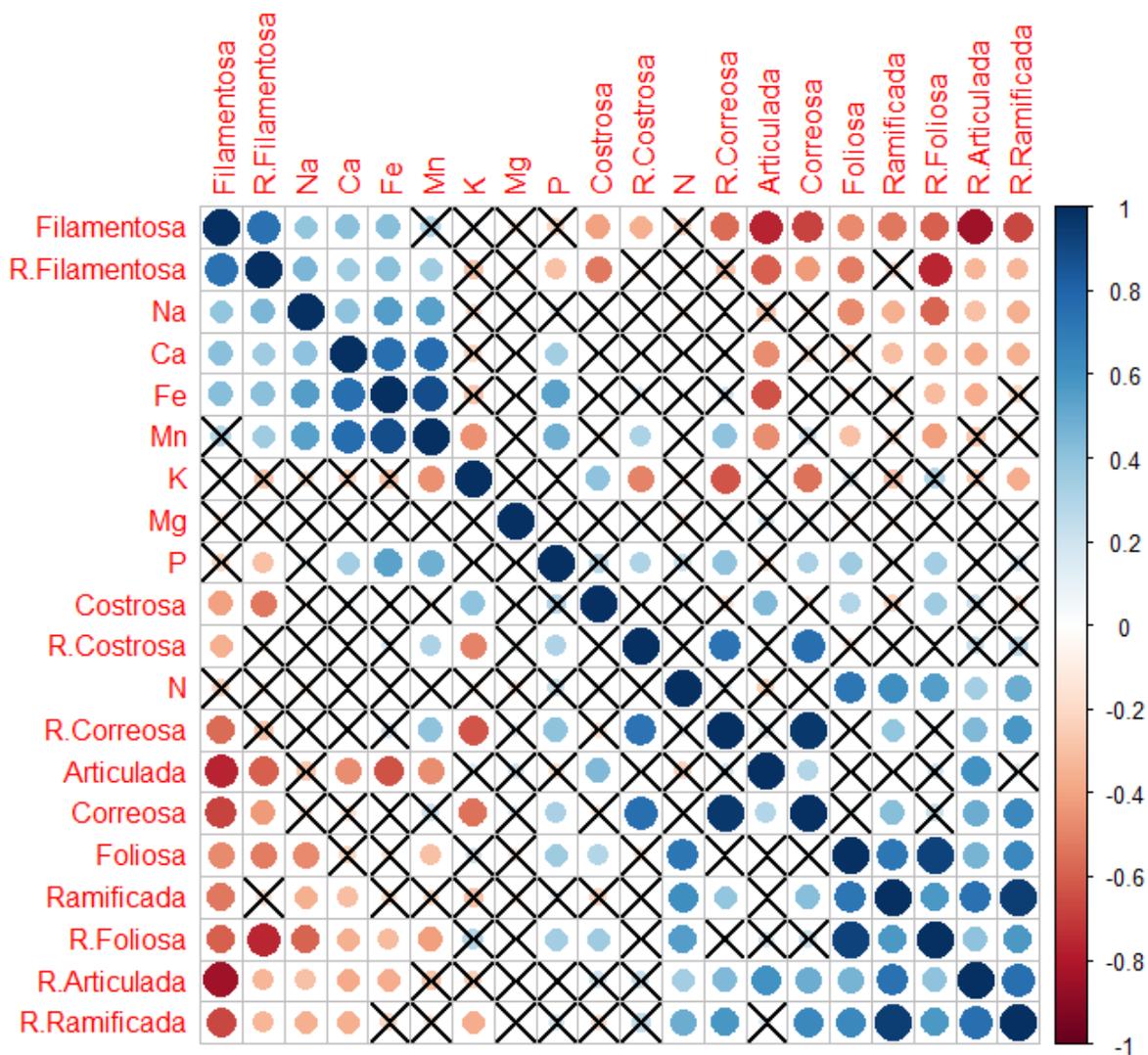


Figura 46. Correlación múltiple de la riqueza y abundancia de los grupos funcionales forma-función de la comunidad macroalgal con el contenido de nutrientes en el talo de *S. horridum*, para la pradera de Boca del Sauzoso. La R. indica riqueza de cada grupo. Las X indican que no hay una correlación significativa, el tamaño del círculo muestra el nivel de la correlación y el color si la correlación es negativa o positiva, según la escala.

Tabla 19. Correlaciones significativas con $r^2 \geq 0.6$, entre el contenido de nutrientes y la riqueza y abundancia de los grupos funcionales de la comunidad macroalgal asociadas a la pradera de *S. horridum* de Boca del Sauzoso. La R indica la riqueza del grupo.

Grupo funcional	Positiva	Negativa
Correosa		K
Foliosa	N	Na
Articulada		Ca, Fe, Mn
Ramificada	N	
R. costrosa		K

El contenido de Mg al no variar en los diferentes estados de desarrollo del talo y la pradera, no influye en los atributos de las comunidades evaluadas. Dicho nutriente siempre es requerido en altas cantidades para los procesos fotosintéticos y no se acumula en el talo (Lobban & Harrison, 1997).

La abundancia de peces herbívoros están relacionados con la abundancia y riqueza de macroalgas filamentosas, el contenido de Ca, Na, Fe y Mn del talo de *S. horridum* y la riqueza y abundancia de peces zoobentófagos. Estas relaciones ecológicas que se dan entre estos grupos de variables, se pueden explicar a través de las relaciones tróficas presentes en la pradera de Boca del Sauzoso, ya que un aumento de las macroalgas filamentosas asociadas, que presentan bajos contenidos de metabolitos secundarios y alta hervivoría (Littler & Littler, 1983), propicia el desarrollo de la pradera y aumenta las poblaciones de invertebrados (Suárez, 2008; Suárez *et al.*, 2013a), viendose reflejado en un aumento de la abundancia y riqueza de peces zoobentófagos.

Los herbívoros muestran una relación inversa con la riqueza y abundancia de macroalgas costrosas y calcáreas articuladas, ya que cuando la cobertura de estas aumentan, hay una reducción en la disponibilidad de alimento para los peces, a causa de la calcificación y producción de metabolitos secundarios (Paul & Hay, 1986).

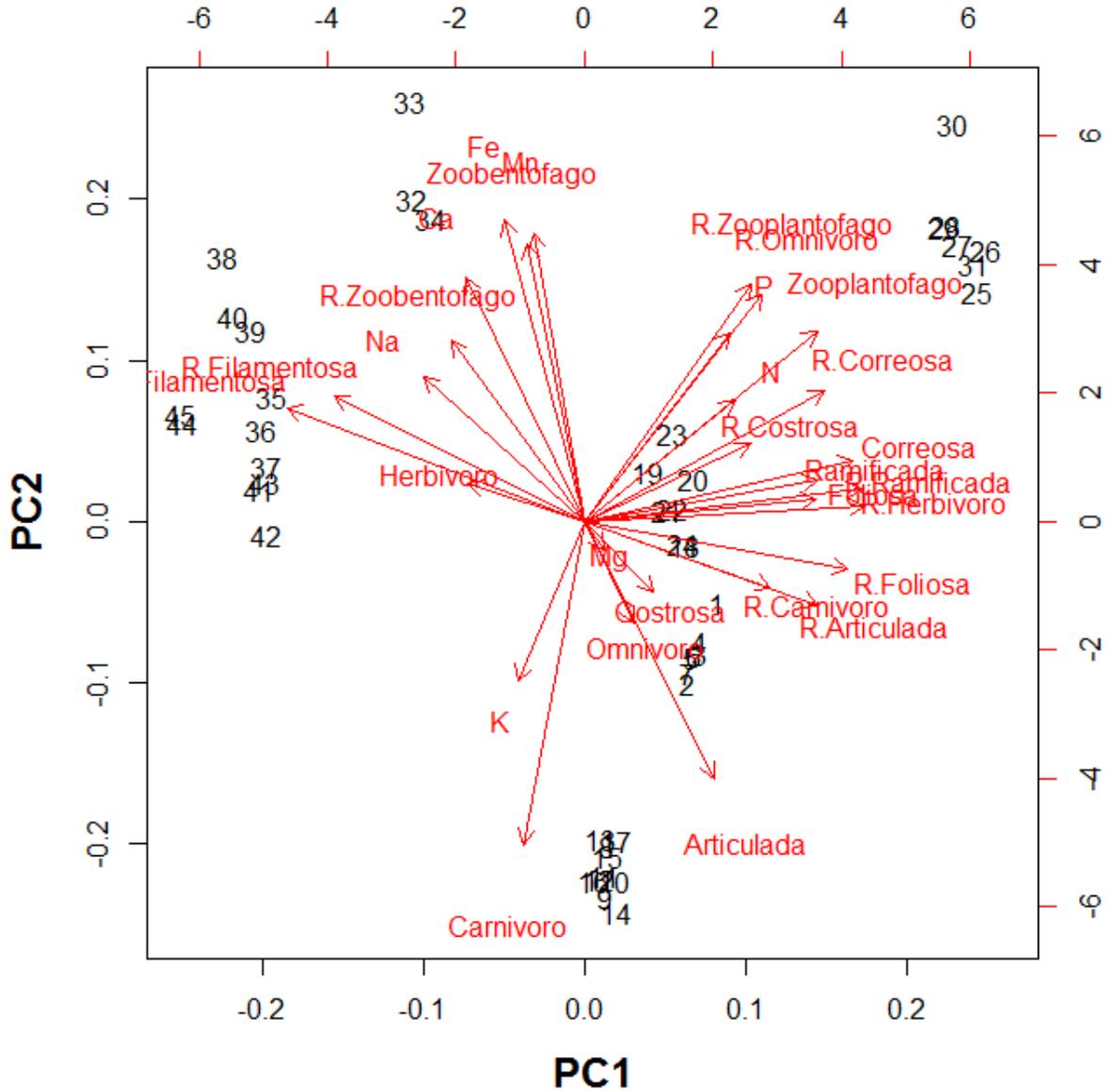


Figura 47. Análisis de componentes principales para la riqueza y abundancia de las comunidades íctica y macroalgas, con el contenido de nutrientes del talo de *S. horridum* en la pradera de Boca del Sauzoso. La R. indica la riqueza de cada grupo.

El contenido de N, está relacionado con la riqueza de especies de los grupos zooplanctófono, omnívoro, carnívoro y herbívoros, también con la cobertura y riqueza de macroalgas ramificada, calcáreas articuladas, correosas y costrosas. Esta relación muestra que, al aumentar el contenido de N, por procesos metabólicos o edad del talo, también lo hace la riqueza de estos grupos, ya que el desarrollo de la segunda generación (aumento de cobertura) está asociado a un aumento en el contenido de N (Granado & Caballero, 2001).

Al haber un mayor desarrollo de la pradera y estructuración del hábitat, la abundancia de invertebrados bentónicos también lo hace, afectando la densidad de peces zoobentófagos. Como sucede con las poblaciones de las familias Labridae, Haemulidae, Balistidae y Diodontidae, las cuales aumentan por la presencia de erizos herbívoros, siendo estos los que controlan sus poblaciones (Sale, 1991).

Adicionalmente, la variación de la riqueza y abundancia de los grupos funcionales forma-función de las macroalgas están relacionados con los atributos de la comunidad íctica, ya que los peces herbívoros pueden regular la distribución y dominancia de las macroalgas que confirman la pradera, todos estos cambios sumados a los factores ambientales que afectan al ecosistema (Hay, 1985).

Al concluir con el los análisis comunitarios, se puede inferir que la alta diversidad de la comunidad íctica y macroalgal asociada a la pradera de macroalgas, se debe a la función importante que *S. horridum* cumple dentro del ecosistema, tanto en la estructuración de la comunidad, como en la recirculación de nutrientes (Lobban & Harrison, 1997; Stachowicz, 2001; Suárez, 2008).

Atributos como la riqueza y abundancia de la comunidad asociada a la pradera de Boca del Sauzoso, están relacionados con el contenido de algunos nutrientes en el talo de *S. horridum*, sin embargo, no existe un solo elemento que explique toda

la variación de estos atributos, por el contrario es un efecto integrado de estos, al igual que otros factores físicos y químicos que afectan a la comunidad, como el efecto que tiene la topografía del sustrato sobre las poblaciones de peces, cambiando sus áreas de alimentación, desove y reclutamiento (Aburto & Balart, 2001; Stachowicz, 2001).

5. CONCLUSIONES

Las variables ambientales evaluadas presentaron valores acordes a los determinados previamente en la bahía de La Paz. Donde la temperatura es la principal variable que afecta la talla y cobertura de *S. horridum*.

La cobertura de la pradera de macroalgas de Boca del Sauzoso, según el modelo de dominancia, muestra un ecosistema con bajos disturbios físicos, con baja concentración de nutrientes al inicio del año. Donde predominan las grandes algas frondosas, soportando comunidades de herbívoros y omnívoros.

Sargassum horridum presenta dos picos de madurez, el primero en el mes de marzo con las mayores tallas, mientras que el segundo en junio con la mayor cobertura del año. La pradera perdura en el tiempo por la incorporación de nuevas plántulas y un mayor aporte por parte de talos que se regeneran en el siguiente ciclo de desarrollo de la macroalga (periodo de latencia).

La pradera de *S. horridum* presenta cuatro estados de desarrollo al año, la primera generación caracterizada por presentar la mayor talla, seguida de la segunda generación con la mayor cobertura de la pradera, continúa el periodo de senescencia asociado al incremento de las temperaturas del agua en el Golfo de California; por último la pradera permanece en estado de latencia con una mínima cobertura que dará lugar al siguiente ciclo de desarrollo.

La población de *S. horridum* de Boca del Sauzoso a pesar de estar creciendo y ser estable en el tiempo, podría ser susceptible a un aprovechamiento descontrolado si no se tienen en cuenta su fenología y estructura poblacional, lo que afectaría directamente a las comunidades asociadas.

Es el primer trabajo que evalúa la variación en la composición elemental de *S. horridum* durante todo un ciclo anual, teniendo en cuenta el estado poblacional o

desarrollo del talo y su efecto sobre la comunidad, sirviendo de base para nuevas investigaciones y lineamientos para su conservación.

De los elementos químicos estudiados el Ca, K, Na, N y Mg son macronutrientes, mientras que el P, Fe y Mn son micronutrientes; correspondiendo al 11.4% del contenido total de nutrientes. Estos altos niveles de oligoelementos, califican a *S. horridum* como una especie de importancia en la recirculación de nutrientes en los litorales de la bahía de La Paz; además, de ser una buena fuente de nutrientes que puede ser apta para la industria agrícola, alimenticia y ganadera.

El contenido de nutrientes en el talo de *S. horridum* aumenta con el tiempo de residencia del talo en la columna de agua. Si el talo es más viejo, su contenido será mayor, con excepción del Mg que no presenta variaciones en el contenido del talo a lo largo del año, ni en los estados de desarrollo, sin acumularse en la matriz extracelular.

Los cambios en la comunidad íctica están asociados al desarrollo de la pradera de *S. horridum* de Boca del Sauzoso, a pesar de no presentarse fauna exclusiva, funciona como un acumulador de riqueza y abundancia, llegando a superar los valores registrados en otros ecosistemas de la bahía de La Paz, por el tipo de hábitat que genera el dosel para las especies asociadas.

Los grupos funcionales de macroalgas como foliosas, correosas y filamentosas presentan las mayores coberturas. Las algas rojas son las más abundantes después de *Sargassum* (especie dominante), seguido de las cianobacterias que son dominantes durante la etapa de latencia de la pradera; cambios asociados al estado de desarrollo de la pradera y del talo de *S. horridum*.

Se confirma la importancia de la pradera de *S. horridum* en Boca del Sauzoso para las comunidades asociadas, la riqueza y abundancia se ve afectada por el desarrollo del manto, su estado y composición química.

Se acepta la hipótesis de trabajo, determinando que existen correlaciones significativas y positivas entre la riqueza y abundancia de algunos grupos tróficos de la comunidad íctica con el contenido de K, P, N, Ca y P, mientras que con el Na fueron negativas. Para la comunidad de macroalgas dichas correlaciones fueron menores, siendo positiva para el contenido de N y negativa para con K, Na, Ca, Fe y Mn, El grupo de las filamentosas no presentó ningún tipo de correlación con el contenido de nutrientes del talo de *S. horridum*.

Existe un efecto de la composición química del talo de *S. horridum* sobre la comunidad asociada; sin embargo, son varios los factores y sus interacciones las que intervienen en la estructuración de la comunidad, como la influencia de la riqueza y abundancia de los grupos funcionales forma-función de las macroalgas sobre los atributos de la comunidad íctica.

6. RECOMENDACIONES

Los análisis de concentración de nutrientes en el agua, deben mostrar los valores más pequeños, así la variación sea mínima, ya que es de importancia en el procesamiento de datos, análisis de varianzas y correlaciones, evitando trabajar con el valor mínimo de detección del equipo empleado.

Se recomienda que los futuros análisis químicos realizados en *S. horridum*, deban tener en cuenta su estructura poblacional y variación a lo largo de un ciclo anual, evitando tomar muestras puntuales de la población.

En caso de explotación comercial, los talos de *S. horridum* deben ser cosechados por encima de los 20 cm, ya que esta es la talla promedio máxima de los talos en latencia. Esto permitirá la regeneración de la pradera para el siguiente año y mantendrá el recurso y la población. También se debe conocer el tipo de uso que se le dará al recurso para determinar el mejor momento en el cuál realizar la cosecha, durante la primera generación se obtienen las mayores tallas, sin embargo, la población está madura en la segunda generación, con tallas medias y una mayor cobertura.

Las praderas de *S. horridum*, deben ser conservadas e incluidas dentro del manejo de recursos pesqueros del Golfo de California teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que permitirá la preservación del recurso en el tiempo, causando el menor impacto a las comunidades asociadas.

Realizar meta análisis similares a otras praderas de *Sargassum* en el Golfo de California y Pacífico, para determinar los cambios en la distribución, riqueza y abundancia de las comunidades asociadas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbott, I., & G. J. Hollenberg, 1992. *Marine algae of California*. Stanford University Press, EEUU. 830 p.

Aburto, O., & E. Balart, 2001. Community Structure of Reef Fish in Several Habitats of a Rocky Reef in the Gulf of California. *Marine Ecology* 22: 283–305.

Águila, R. N., M. Casas, C. J. Hernández, & A. Marín, 2005. Biomasa de *Ulva* spp. (Chlorophyta) en tres localidades del malecón de La Paz, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 40: 55–61.

Álvarez, A. D., & J. Gaitán, 1994. Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano: Geología. *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. UNAM-UABCS, México: 13–74.

Amsler, C. D. (ed), 2008. *Algal Chemical Ecology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Birmingham, USA. 322 p.

Andrade, G., R. Riosmena, R. Muñiz, J. M. López, G. H. Boo, K. M. Lee, & S. M. Boo, 2014. Morphological reassessment and molecular assessment of *Sargassum* (Fucales: Phaeophyceae) species from the Gulf of California, Mexico. *Phytotaxa* 183: 201–223.

Andrade, G., R. Riosmena, & L. Paúl, 2008. Variabilidad Morfológica Y Morfométrica de *Sargassum lapazeanum* (Sargassaceae: Phaeophyta) en el Suroeste del Golfo de California. *Insula* 37: 67–80.

Ang, P. O. & R. E. De Wreede, 1990. Matrix models for algal life history stages. *Marine Ecology Progress Series* 59: 171–181.

Balboa, E., C. Gallego, A. Moure, y H. Domínguez, 2015. Study of the seasonal variation on proximate composition of oven-dried *Sargassum muticum* biomass collected in Vigo Ria, Spain. *Journal of Applied Phycology* 28: 1–11.

Barjau, E., 2012. *Estructura comunitaria y diversidad taxonómica de los peces en la Bahía de la Paz y la isla San José, Golfo de California*. Tesis de grado para obtener el título de Doctor en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C - CIBNOR. 149 p.

Barjau, E., J. Rodríguez, & F. Galván, 2016. Temporal and Spatial Structure of the Reef Fish Community of the West Coast of La Paz Bay, México. *International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology* 3: 28–35.

Beas, R., & L. Ladah, 2014. Latitudinal, seasonal, and small-scale spatial differences of the giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, and an herbivore at their southern range limit in the northern hemisphere. *Botanica Marina* 57: 73–83.

Broecker, W., 1974. *Chemical Oceanography*. Harcourt Brace Jovanovich, Inc., United States of America. 214 p.

Camacho, O., & G. Hernández, 2012. Phenology and alginates of two *Sargassum* species from the Caribbean coast of Colombia. *Ciencias Marinas* 38: 381–393.

Capdevielle, F., C. Ottati, & M. Lopretti, 2010. Bioinfo_eXtrema: un enfoque bioinformático para integrar información ambiental, bioquímica y genómica, enfocado en bioprospección y selección de consorcios de microorganismos con aplicaciones en biorremediación. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay* 5: 43–47.

Carrillo, S., A. Bahena, M. Casas, M. Carranco, C. Calvo, E. Ávila, & F. Pérez, 2012. El alga *Sargassum* spp. como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46: 181–186.

Casas, M., H. Hernández, A. Marín, R. N. Águila, C. Hernández, I. Sánchez, & S. Carrillo, 2006. El alga marina *Sargassum* (Sargassaceae): Una alternativa tropical para la alimentación de ganado caprino. *Revista de Biología Tropical* 54: 83–92.

Casas, M., I. Sánchez, & G. Hernández, 1993. Evaluación de *Sargassum* spp en la costa oeste de Bahía concepción, BCS, México. *Investigaciones Marinas CICIMAR* 8: 61–69.

Chávez, T., 2017. *Reclutamiento y abundancia de especies del género Ulva (Chlorophyta) y su relación con variables hidrográficas en la Bahía de La Paz*. Tesis de grado para obtener el título de Doctor en Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional - CICIMAR. 180 p.

Clarke, K. R., & R. M. Warwick, 2001. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. PRIMER-E, Plymouth UK. Plymouth Marina Laboratory, United Kingdom. 176 p.

Coan, E. V., P. Valentich, & P. S. Sadeghian, 2012. *Bivalve seashells of tropical west America: marine bivalve mollusks from Baja California to northern Perú*. Santa Barbara Museum of Natural History, California. 1080 p.

Collado, L., 1997. Aspectos ecológicos y evolutivos de la arquitectura modular en plantas: perspectivas en algas marinas. *Revista Chilena de Historia Natural* 70: 23–39.

Contreras, F., O. Castañeda, & R. Torres, 1997. Hidrología, nutrientes y productividad en las lagunas costeras del estado de Oaxaca, México. *Hidrobiológica* 7: 9–17.

Cruz, G., 2012. *Presencia del alga parda Sargassum horneri en Baja California y su posible impacto sobre las comunidades de macroalgas y macroinvertebrados de Rincón de Ballenas y Rancho Packard, Baja California*. Tesis de grado para obtener el título de Maestro en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada - CICESE. 134 p.

Cruz, 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 grado para obtener el título de Maestro en Ciencias Pesqueras. Instituto Politécnico Nacional - CICIMAR. 108 p.

Di Filippo, D. A., 2014. *Variación de la composición química y actividad biológica del alga café Sargassum horridum (Setchell & Gardner, 1924) de la Bahía de la Paz, B.C.S., México*. Tesis de grado para obtener el título de Maestro en Ciencias en Manejo en Recursos Marinos. Instituto Politécnico Nacional – CICIMAR. 107 p.

Diaz, G., & L. McCook, 2005. Effects of nutrient enhancement on the fecundity of a coral reef macroalga. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 317: 13–24.

Downing, J. A., & M. Robin, 1985. Estimating the standing biomass of Aquatic Macrophytes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42: 1860–1869.

Echavarría, B. Z., A. S. Franco, & A. M. Martínez, 2009. Evaluación de la actividad antioxidante y determinación del contenido de compuestos fenólicos en extractos de macroalgas del Caribe Colombiano. *Vitae - Revista de la Facultad Química Farmacéutica Universidad de Antioquia* 16: 126–131.

English, S., C. Wilkinson, & V. Baker, 1997. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia. 390 p.

Erickson, A. A., V. J. Paul, K. L. Van Alstyne, & L. M. Kwiatkowski, 2006. Palatability of Macroalgae that Use Different Types of Chemical Defenses. *Journal of Chemical Ecology* 32: 1883–1895.

Espinoza, J., 1993. Macroalgas Marinas del Golfo de California. En Salazar, S., & N. González (eds), *Biodiversidad Marina y Costera de México*. Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México: 328–357.

Firn, R. D., & C. G. Jones, 2000. The evolution of secondary metabolism-a unifying model. *Molecular Microbiology-MicroOpinion* 37: 989–994.

Fajardo, M. del C., 1994. *Evaluación de Biomasa y determinación de especies de los mantos del género Sargassum spp Agardh 1821 (Fucales; Phaeophyta) en la Bahía de la Paz, B.C.S., México en primavera de 1988*. Tesis de grado para obtener el título de Maestro en Ciencias Pesqueras. Instituto Politécnico Nacional - CICIMAR. 78 p.

Foster, M. S., L. M. McConnico, L. Lundsten, T. Wadsworth, T. Kimball, & L. B. Brooks, 2007. Diversity and natural history of a *Lithothamnion muelleri* - *Sargassum horridum* community in the Gulf of California. *Ciencias Marinas* 33: 367–384.

Froese, R., & D. Pauly, 2017. *FishBase - World Wide Web electronic publication*. www.fishbase.org.

Gojon, H., 1997. *Degradabilidad in situ y digestibilidad ruminal de *Macrocylis pyrifera* (LAMINARIALES, PHAEOPHYTA) y *Sargassum spp.* (FUCALES PHAEOPHYTA) en ganado bovino*. Tesis para obtener el título de Biólogo Marino. Universidad Autónoma de Baja California Sur - UABCS. 74 p.

González, A., 2003. *Variabilidad espacio-temporal de las asociaciones de peces críticos en áreas arrecifales coralinas y rocosas de la región de La Paz, B.C.S.* Tesis de grado para obtener el título de Maestro en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C - CIBNOR. 87 p.

Granado, I., & P. Caballero, 2001. Feeding rates of *Littorina striata* and *Osilinus atratus* in relation to nutritional quality and chemical defenses of seaweeds. *Marine Biology* 138: 1213–1224.

Guiry, M. D., & G. M. Guiry, 2017. *Algaebase – Worldwide electronic publication*, National University of Ireland, Galway. <http://algaebase.org/about/>.

Hay, M., 1985. Spatial Patterns Of Herbivore Impact And Their Importance In Maintaining Algal Species Richness. *Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress* 4: 29–34.

Hernández, G., M. Casas, C. Fajardo, I. Sánchez, & E. Rodríguez, 1990. Evaluación de *Sargassum* spp. en la Bahía de la Paz, B.C.S, México. *Investigaciones Marinas CICIMAR* 5: 11–18.

Humann, P., & N. Deloach, 2004. *Reef Fish identification Baja to Panama*. New World Publications Inc., Jacksonville, Florida. USA. 378 p.

ITIS, 2017. *Integrated Taxonomic Information System* - on-line database. ITIS – Worldwide electronic publication. www.itis.gov.

Jobe, C. F., & R. W. Brooks, 2009. Habitat selection and host location by symbiotic shrimps associated with *Sargassum* communities: The role of chemical and visual cues. *Symbiosis* 49: 77–85.

León, J., J. Bastida, L. Carrera, M. E. García, A. Peña, S. Salazar, & V. Solís, 2009. *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México y América tropical*. Universidad Autónoma de Nuevo León - México. 737 p.

Littler, M., & D. Littler, 1981. Intertidal macrophyte communities from Pacific Baja California and the upper Gulf of California, relatively constant vs environmentally fluctuating systems. *Marine Ecology Progress Series* 4: 145–158.

Littler, M., & D. Littler, 1983. Evolutionary strategies in a tropical barrier reef system: Functional-form groups of marine macroalgae. *Journal of Phycology* 19: 229–237.

Littler, M. M., & D. S. Littler, 1985. Factors controlling relative dominance of primary producers on biotic reefs. *Proceedings of the 5th International Coral Reef Congress* 4: 35–39.

Lobban, C., & P. Harrison, 1997. *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press, New York. 381 p.

Margalef, T., 1974. *Ecología*. Omega, Madrid. 953 p.

Mateo, L., M. Casas, E. Rodríguez, & I. Sánchez, 1993. Estudio florístico de las algas marinas bentónicas de bahía Concepción, BCS, México. *Ciencias Marinas* 19: 41–60.

Méndez, M. C., R. Riosmena, E. Ávila, J. M. López, & A. Senties, 2014. Evaluación de la invasión de *Acanthophora spicifera* (Rhodophyta) sobre la epifauna en Bahía de La Paz, B.C.S. En Low Pfeng, A., P. Quijón, & E. Peters Recagno (eds), *Especies invasoras acuáticas: Casos de estudio en ecosistemas de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, University of Prince Edward Island, México: 433–456.

Méndez, M. D. C., 2013. *Complejidad agregada del hábitat de los anfípodos asociados a los bosques de Sargassum spp. en Bahía de la Paz, Baja California Sur*. Tesis de grado para obtener el título de Maestro en Ciencias en Manejo en Recursos Marinos. Instituto Politécnico Nacional - CICIMAR. 144 p.

Mohammadi, M., H. Tajik, & P. Hajeb, 2013. Nutritional composition of seaweeds from the Northern Persian Gulf. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 12: 232–240.

Muñeton, M., 1989. Morfología y época de reproducción *Sargassum horridum* (Setchell y Gardner) en la Bahía de la Paz, BCS, México. *Investigaciones Marinas CICIMAR* 4: 257–266.

Muñetón, M. del S., & G. Hernández, 1993. Crecimiento estacional de *Sargassum horridum* (SETCHELL Y GARDNER) Phaeophyta, en la bahía de la Paz, BCS., México. *Investigaciones Marinas CICIMAR* 8: 23–31.

Novoa, A., M. Motidome, J. Mancini-filho, A. Linares, M. Tanae, M. L. Torres, & A. J. Lapa, 2001. Actividad antioxidante y ácidos fenólicos del alga marina *Bryothamnion*. *Revista Brasileña de Ciencias Farmacéuticas* 37: 3.

Núñez, R. A., & M. M. Casas, 1996. Fenología de las especies de *Sargassum* (Fucales: Sargassaceae) en tres zonas de Bahía Concepción, B.C.S., México. *Revista de Biología Tropical* 44: 455–464.

Obeso, M., B. Shirasago, J. Gaviño, E. Pérez, H. Obeso, & Á. Jiménez, 2008. Variabilidad hidrográfica en Bahía de La Paz, Golfo de California, México (1995-2005). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43: 559–567.

Okolodkov, Y. B., 2010. *Biogeografía Marina*. Universidad autónoma de Campeche. México. 217 p.

Ortiz, I., 2012. *Actividad biológica de esponjas y su relación con la complejidad de la comunidad bentónica en la Bahía de La Paz, BCS, México*. Tesis de grado para obtener el título de Maestro en Ciencias en Manejo en Recursos Marinos. Instituto Politécnico Nacional – CICIMAR. 122 p.

Pacheco, I., F. Becerril, J. Zertuche, A. Chee, A. Gálvez, & R. Blanco, 2003. Effects of El Niño on beds of *Ulva lactuca* along the northwest coast of the Gulf of California, Mexico. *Geofísica Internacional* 42: 447–453.

Patrón, M., M. Casas, E. Serviere, T. Zenteno, D. Lluch, & L. Méndez, 2011. Biosorption Capacity for Cadmium of Brown Seaweed *Sargassum sinicola* and *Sargassum lapazeanum* in the Gulf of California. *Water, Air, & Soil Pollution* 221: 137–144.

Paul, L., 2005. *Taxonomía y dinámica poblacional del complejo sinicola (Fucales: Phaeophyta) para el suroeste del Golfo de California*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional - CICIMAR. 194 p.

Paul, V., 1992. *Ecological Roles of Marine Natural Products*. Comstock Publishing Associates - A division of Cornell University Press, New York. 245 p.

Paul, V., & M. Hay, 1986. Seaweed susceptibility to herbivory: chemical and morphological correlates. *Marine Ecology Progress Series* 33: 255–264.

Paul, N., R. de Nys, & P. Steinberg, 2006. Seaweed–herbivore interactions at a small scale: direct tests of feeding deterrence by filamentous algae. *Marine Ecology Progress Series* 323: 1–9.

Pavia, H., & G. Toth, 2008. Macroalgal Models in Testing and Extending Defense Theories. En Amsler, C. (ed), *Algal Chemical Ecology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Birmingham, USA: 147–172.

Peng, Y., E. Xie, K. Zheng, M. Fredimoses, X. Yang, X. Zhou, Y. Wang, B. Yang, X. Lin, J. Liu, & Y. Liu, 2013. Nutritional and chemical composition and antiviral activity of cultivated seaweed *Sargassum naozhouense* Tseng et Lu. *Marine Drugs* 11: 20–32.

Pereira, R., & B. Gama, 2008. Macroalgal Chemical Defenses and Their Roles in Structuring Tropical Marine Communities. En Amsler, C. (ed), *Algal Chemical Ecology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Birmingham, USA: 25–56.

Pilson, M., & R. Island, 2013. *An introduction to the Chemistry of the Sea*. Cambridge University Press, New York. 543 p.

Rigby, R., K. Iken, & T. Kato, 2007. *A NAGISA HANDBOOK Sampling Biodiversity in Coastal Communities - NaGISA Protocols for Seagrass and Macroalgal Habitats*. Kyoto University Press, Kyoto: 17–21.

Riosmena, R., G. Hinojosa, J. López, K. León, & E. Holguin, 2017. Caracterización espacial y biogeográfica de las asociaciones de macroalgas de Bahía del Rincón, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical* 53: 1–11.

Rodríguez, A. P., I. Sánchez, E. Shumilin, & D. Sapozhnikov, 2006. Element concentrations in some species of seaweeds from La Paz Bay and La Paz Lagoon, south-western Baja California, Mexico. *Journal of Applied Phycology* 18: 399–408.

Rodríguez, Y., D. Arvizu, & G. Hernández, 2008. Seasonal variation on size and chemical constituents of *Sargassum sinicola* Setchell et Gardner from Bahía de la Paz, Baja California Sur, Mexico. *Phycological Research* 56: 33–38.

Setchell, W., & N. Gardner, 1924. Expedition of the California Academy of Sciences to the Gulf of California in 1921 - *The Marine Algae Proceedings of the California Academy of Sciences*. XII. 29. 695–949.

Sierra, L., & R. Álvarez, 2009. Comparación bromatológica de las algas nativas (*Gracilariopsis tenuifrons*, *Sargassum filipendula*) y exóticas (*Kappaphycus alvarezii*) del Caribe Colombiano. *Boletín Científico Centro de Museos de Historia Natural* 13: 17–25.

Stachowicz, J., 2001. Mutualism, Facilitation, and the Structure of Ecological Communities. *BioScience* 51: 235–246.

Steinberg, P., 1992. Geographical variation in the interaction between marine herbivores and brown algal secondary metabolites In Paul, V. (ed), *Ecological Roles of Marine Natural Products*. Comstock Publishing Associates - A division of Cornell University Press, New York: 51–92.

Strasburger, E., F. Noll, H. Schenck, & A. Schimper, 2004. *Tratado de Botánica*. Ediciones Omega, España. 1117 p.

Suarez, A., 2014. *Bosques de Sargassum en el golfo de California: Estrategias para su conservación y Manejo*. Tesis de grado para obtener el título de Doctor en Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California Sur - UABCS. 170 p.

Suárez, A., 2008. *Fauna asociada a mantos de Sargassum (Ochrophyta: fucales) en El Sauzoso, Baja California Sur, México*. Tesis de grado para obtener el título de Maestro en Ciencias en Manejo en Recursos Marinos. Instituto Politécnico Nacional - CICIMAR. 145 p.

Suárez, A. N., R. Riosmena, G. Hernández, M. C. Méndez, J. M. López, C. Sánchez, M. M. Lara, & J. Torre, 2013a. Biodiversity Associated to *Sargassum* Forest at the Gulf of California. En Riosmena, R. (ed), *Invertebrates: Classification, Evolution and Biodiversity*. Nova Science Publisher, Inc.: 205–223.

Suárez, A., R. Riosmena, M. Rojo, J. Torre, R. Rioja, A. Hudson, T. Pfister, G. Hernández, G. Hinojosa, O. Aburto, & A. Figueroa, 2013b. Bosques de algas pardas en el Golfo de California: *Sargassum*, un hábitat esencial. CONABIO. *Biodiversitas* 108: 12–16.

Velasco, J. A., 2009. *Ambientes geológicos costeros del litoral de la Bahía de La Paz Baja California, Sur, México*. Tesis de grado para obtener el título de Maestro en Ciencias en Manejo en Recursos Marinos. Instituto Politécnico Nacional - CICIMAR. 83 p.

Verdugo, G., A. Martínez, M. M. Villegas, & G. Gaxiola, 2014. Producción primaria y eficiencia fotosintética en cuenca Alfonso, Bahía de la paz, Golfo de California, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49: 527–536.

WoRMS, 2017. Editorial Board - *World Register of Marine Species Available*. *Worms* – Worldwide electronic publication. <http://www.marinespecies.org>.

Yabur, R., Y. Bashan, & G. Hernández-Carmona, 2007. Alginate from the macroalgae *Sargassum sinicola* as a novel source for microbial immobilization material in wastewater treatment and plant growth promotion. *Journal of Applied Phycology* 19: 43–53.