



Universidad Austral de Chile

**Facultad de Ciencias
Escuela de Biología Marina**

**PROFESOR PATROCINANTE:
DR. IVÁN GÓMEZ OCAMPO
INSTITUTO DE BIOLOGÍA MARINA**

**PROFESOR CO-PATROCINANTE:
DR. ANDRÉS MANSILLA MUÑOZ
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA MARINA
FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE MAGALLANES**

**“EFECTO DE LA RADIACIÓN UVB EN EL CRECIMIENTO DE DISCOS,
MICROTALOS Y PLÁNTULAS DE *Sarcothalia crispata* (BORY) LEISTER EN
CONDICIONES DE LABORATORIO”**

Tesis de Grado presentada como
parte de los requisitos para optar
al Título de Biólogo Marino

**MARCELA GONZALEZ ZUÑIGA
VALDIVIA – CHILE
2004**

Dedicado a:

Mis padres Manuel y Amalia, ejemplos admirables en su tesón y perseverancia, a mi hermana por su necesaria compañía y apoyo sin condiciones y a mis abuelas Fabiola y María, por plasmar en todos y cada uno, un sólido sentimiento de familia.

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos al Dr. Iván Gómez por aceptarme como su primera tesista y brindarme todo su tiempo y su constante guía empírica, que permitieron ayudarme en el desarrollo de mis inicios en el quehacer científico.

Reiterar mi gratitud al Dr. Andrés Mansilla, por brindarme las facilidades necesarias para realizar mis experiencias de laboratorio, junto a su equipo práctico integrado por don Mauricio Palacio y don Nelso Navarro, sin quienes el desarrollo de mi tesis no habría alcanzado el nivel de respuesta acorde con la verdad de mi trabajo científico.

INDICE

RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
1. INTRODUCCION.....	14
1.1 HIPOTESIS.....	18
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.3 OBJETIVO ESPECIFICOS	18
1.4 DESCRIPCION DE LA ESPECIE	19
2 MATERIAL Y METODO	21
2.1 COLECTA DE MATERIAL FÉRTIL.....	21
2.2 SELECCIÓN DE MATERIAL Y ESPORULACION.....	21
2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL	23
2.3.1 CONDICIONES DE ILUMINACIÓN.....	25
2.3.2 TRATAMIENTO DE ESPORAS	25
2.3.3 TRATAMIENTO DE PLANTULAS	26
2.3.4 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CRECIMIENTO.....	26
3 RESULTADOS	29
3.1 ESPORULACION	29
3.2 CRECIMIENTO DE DISCOS: TETRASPOROFITOS.....	30
3.3 CRECIMIENTO DE DISCOS: GAMETOFITOS.....	32
3.4 CRECIMIENTO DE MICROTALOS: TETRASPOROFITOS.....	33
3.5 CRECIMIENTO DE MICROTALOS: GAMETOFITOS.....	35
3.6 CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS: TETRASPOROFITOS.....	36
3.7 CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS: GAMETOFITOS.....	39
4 DISCUSION.....	42
4.1 ESTACIONALIDAD DEL CICLO DE VIDA Y DESARROLLO DE FASES TEMPRANAS.....	42
4.2 BASES FISIOLÓGICAS DE LAS RESPUESTAS ANTE UVB Y PAR.....	49
4.3 CONSIDERACIONES FINALES E IMPLICANCIAS DEL ESTUDIO.....	51
BIBLIOGRAFIA.....	53
TABLAS	62
FIGURAS	71

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental. Distribución de embriones provenientes de carposporas y tetrasporas adheridos a portaojetos (esporas) y de plántulas tetrasporofíticas y gametofíticas de <i>S. crispata</i> en los distintos	63
Tabla 2. Análisis de varianza de 2 vías del crecimiento de discos provenientes de carposporas (tetrasporofitos) de <i>Sarcothalia</i> sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis <i>a posteriori</i> (prueba de Tukey) indicando los valores promedio y por otro lado la significancia (letras diferente indican diferencias significativas). Valores promedio en μm .	63
Tabla 3. Análisis de varianza de 2 vías del diámetro de discos provenientes de tetrasporas (gametofitos) de <i>Sarcothalia</i> sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis <i>a posteriori</i> (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en μm y por otro lado la significancia (letras diferentes indican diferencias significativas)	64
Tabla 4. Análisis de varianza de 2 vías de la longitud de microallos provenientes de carposporas (tetrasporofitos) de <i>Sarcothalia</i> sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis <i>a posteriori</i> (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en μm (letras diferentes indican diferencias significativas).	64
Tabla 5. Análisis de varianza de 2 vías de la longitud de microtalos provenientes de tetrasporas (gametofitos) de <i>Sarcothalia</i> sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis <i>a posteriori</i> (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en μm (letras diferentes indican diferencias significativas).	65
Tabla 6. Análisis de varianza de 2 vías del incremento del área foliar de plántulas tetrasporofíticas (tetrasporofitos) de <i>Sarcothalia</i> sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis <i>a posteriori</i> (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mm^2 (letras diferentes indican diferencias significativas).	65
Tabla 7. Análisis de varianza de 2 vías del incremento del largo foliar de plántulas tetrasporofíticas de <i>Sarcothalia</i> sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis <i>a posteriori</i> (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mm (letras diferentes indican diferencias significativas).	66

- Tabla 8.** Análisis de varianza de 2 vías del incremento del ancho foliar de plántulas tetrasporofíticas de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mm (letras diferentes indican diferencias significativas). 67
- Tabla 9.** Análisis de varianza de 2 vías del incremento de la biomasa húmeda de plántulas tetrasporofíticas de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en μm^2 (letras diferentes indican diferencias significativas). 68
- Tabla 10.** Análisis de varianza de 2 vías del incremento del área foliar de plántulas gametofíticas de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mm^2 (letras diferentes indican diferencias significativas). 68
- Tabla 11.** Análisis de varianza de 2 vías del incremento del largo foliar de plántulas gametofíticas de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2)) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mm (letras diferentes indican diferencias significativas). 69
- Tabla 12.** Análisis de varianza de 2 vías del incremento del ancho foliar de plántulas gametofíticas de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mm (letras diferentes indican diferencias significativas). 69
- Tabla 13.** Análisis de varianza de 2 vías del incremento de la biomasa húmeda de plántulas gametofíticas de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mg (letras diferentes indican diferencias significativas). 70

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo trifásico isomórfico de <i>sarcothalia crispata</i> (Rhodophyta, Gigartinales)	72
Figura 2. Mapa del lugar de colecta, Pta. Santa Ana (53° 37' 59" S; 73° 54' 47,6" W), XII Región, Chile. Playa de bolones ubicada en la costa del Estrecho de Magallanes (a). <i>Sarcothalia crispata</i> adherida a bolones en el intermareal (b).	72
Figura 3. Talos reproductivos de <i>S. crispata</i> cortados y dispuestos para esporulación: Etapa de deshidratación (ancho de la hoja absorbente 20,3 cm).	73
Figura 4. Solución de esporas de <i>Sarcothalia crispata</i> de color rojizo	73
Figura 5. Cámara de cultivo con juego de lámparas	74
Figura 6. Organización del experimento realizado con plántulas de <i>S. crispata</i> separado en tres tratamientos con tres replica cada uno (diámetro placa 9,5 cm).	74
Figura 7. Carposporas de <i>S. crispata</i> inoculada el 5 de Julio de 2003, mostrando la primera división de la célula al segundo día de cultivo.	75
Figura 8. Tetrasporas de <i>S. crispata</i> inoculadas el 28 de Marzo de 2003, mostrando células sin división al cuarto día de cultivo.	75
Figura 9. Discos provenientes de carposporas de <i>S. crispata</i> , cultivadas por un mes (día cero del experimento). Aumento 6,3x (Lupa Nikon SMZ800).	76
Figura 10. Diámetros promedio de discos de tetrasporofitos de <i>S. crispata</i> , medidos en μm , sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.	76
Figura 11. Diámetros promedio de discos de tetrasporofitos de <i>S. crispata</i> , medidos en μm , sometidos al tratamiento UVB 1 ($0,03 \text{ W m}^{-2}$), para cada repetición, en condiciones de laboratorio.	77
Figura 12 Diámetros promedio de discos de tetrasporofitos de <i>S. crispata</i> , medidos en μm , sometidos al tratamiento UVB 2 ($0,06 \text{ W m}^{-2}$), para cada repetición, en condiciones de laboratorio.	77
Figura 13. Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio de discos de tetrasporofitos de <i>S. crispata</i> , para el periodo total de experimentación (11 días), sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.	77
Figura 14. Variación de la Tasa de Crecimiento Diario (TCD) de discos de tetrasporofitos de <i>S. crispata</i> , entre cada muestreo, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.	78
Figura 15. Discos provenientes de tetrasporas de <i>S. crispata</i> , cultivadas por un mes (día cero del experimento). Aumento 10x (Microscopio Nikon eclipse E600).	78

- Figura 16.** Diámetros promedio de discos de gametofitos de *S. crispata*, medidos en μm , sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 79
- Figura 17.** Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio de discos de gametofitos de *S. crispata*, para el periodo total de experimentación (38 días), sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 79
- Figura 18.** Tasa de Crecimiento Diario (TCD) de discos de gametofitos de *S. crispata*, entre cada muestreo, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 79
- Figura 19.** Longitud promedio de microtalos de tetrasporofitos de *S. crispata*, medidos en μm , sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 80
- Figura 20.** Microtalos de *S. crispata* provenientes de carposporas, registrado después de 22 de exposición. Aumento 3x (Microscopio Nikon eclipse E600) 80
- Figura 21.** Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio de microtalos de tetrasporofitos de *S. crispata*, para el periodo total de experimentación (36 días), sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 81
- Figura 22.** Tasa de Crecimiento Diario (TCD) de microtalos de tetrasporofitos de *S. crispata*, entre cada muestreo, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 81
- Figura 23.** Microtalos de *S. crispata* provenientes de tetrasporas, registrado después de 22 de exposición. Aumento 4x (Microscopio Nikon eclipse E600). 81
- Figura 24.** Longitud promedio de microtalos de gametofitos de *S. crispata*, medidos en μm , sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 82
- Figura 25.** Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio de microtalos de gametófitos de *S. crispata*, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 82
- Figura 26.** Tasa de Crecimiento Diario (TCD) de microtalos de gametófitos de *S. crispata*, entre cada muestreo, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 82
- Figura 27.** Plántulas de *S. crispata* provenientes de carposporas, registrado al inicio del experimento (Día 0). Aumento 3x (Microscopio Nikon eclipse E600). 83

- Figura 28.** Plántulas de *S. crispata* provenientes de tetrasporas, registrado al inicio del experimento (Día 0). Aumento 4x (Microscopio Nikon eclipse E600). 83
- Figura 29.** Área foliar de plántulas tetrasporofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 84
- Figura 30.** Longitud de plántulas tetrasporofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 84
- Figura 31.** Ancho de plántulas tetrasporofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 84
- Figura 32.** Biomasa húmeda de plántulas tetrasporofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 85
- Figura 33.** Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio de plántulas tetrasporofíticas de *S. crispata*, para todo el periodo de experimentación, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 85
- Figura 34.** Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio para la biomasa húmeda de plántulas tetrasporofíticas de *S. crispata* para todo el periodo de experimentación, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB). 85
- Figura 35.** Área foliar de plántulas gametofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 86
- Figura 36.** Longitud de plántulas gametofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 86
- Figura 37.** Ancho de plántulas gametofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 86
- Figura 38.** Biomasa húmeda de plántulas gametofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 87
- Figura 39.** Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio de plántulas gametofíticas de *S. crispata*, para todo el periodo de experimentación, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 87
- Figura 40.** Tasa de Crecimiento Diario (TCD) para la biomasa húmeda de plántulas gametofíticas de *S. crispata* para todo el periodo de experimentación, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio. 87

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

RUV = Radiación Ultravioleta

UVB = Ultravioleta B

UVA = Ultravioleta A

PAR = Photosynthetically Active Radiation

TCD = Tasa de Crecimiento Diario (en porcentaje)

PSII = Fotosistema II

ANOVA = Análisis of Variante

MAAs = Mycosporine-like Amino Acids

RESUMEN

El presente estudio tiene por finalidad comparar las tasas de crecimiento diario (TCD), considerando diámetro del disco, longitud del talo, biomasa húmeda, área y ancho foliar, de las distintas etapas del ciclo de vida de *S. crispata* sometidas a diferentes intensidades de radiación ultravioleta B. Plantas fértiles fueron colectadas desde poblaciones naturales de Pta. Santa Ana, Magallanes, Chile (53° 37' 59" S; 70° 54' 47.6" W). Las condiciones de cultivo fueron: temperatura $8 \pm 2^\circ$ C, fotoperiodo 16:8 e intensidad luminosa de $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Se irradiaron discos, microtalos y plántulas, las cuales fueron separadas en tres tratamientos: UVB1 ($0,03 \text{ W m}^{-2}$), UVB 2 ($0,06 \text{ W m}^{-2}$) y PAR ($40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Los resultados muestran que *Sarcothalia* presenta crecimientos diferentes en gametofitos y tetrasporofitos. Por otro lado la TCD de los discos de gametofitos fue mayor en el tratamiento UVB 1 ($0,62\% \text{ d}^{-1}$) y en los discos de tetrasporofitos en el tratamiento PAR ($4,59\% \text{ d}^{-1}$). Los microtalos, gametofíticos y tetrasporofíticos, muestran tasas de crecimiento mayores en los tratamientos con PAR ($3,71\%$ y $12,9\% \text{ d}^{-1}$, respectivamente). El área foliar de las plántulas de ambas etapas tuvo una TCD mayor en los tratamientos con UVB 2 ($4,2\%$ gametofitos y $3,5\%$ tetrasporofitos). En los gametofitos, tanto para largo como para ancho foliar, la TCD fue mayor en los tratamientos con UVB 2 y mientras que en las plántulas tetrasporofíticas, la TCD basada en el largo del talo fue mayor en el tratamiento con UVB 1 y, la TCD basada en ancho fue mayor en el tratamiento con PAR. La TCD calculada sobre la base de la biomasa fue mayor en el tratamiento con UVB 2 para los gametofitos y en los tetrasporofitos fue mayor en UVB 1.

Palabras claves: Radiación UV, *Sarcothalia crispata*, crecimiento, tetrasporofito, carposporofito, Magallanes.

ABSTRACT

The present study was conducted to compare growth rate (RGR) of the different phases of the life history of *Sarcothalia crispata* exposed to different levels of UVB radiation. Mature blades were collected from a wild bed at Punta Santa Ana, Magallanes, Chile (53° 37' 59" S; 70° 54' 47,6" W). Culture conditions were: $8 \pm 2^\circ\text{C}$ temperature, 16:8 L:D photoperiod and illuminated at $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Discs, microblades and young thalli were separated and irradiated with three treatments: UVB1 (0.03 Wm^{-2}), UVB 2 (0.06 Wm^{-2}) y PAR ($40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). The result shows that *Sarcothalia* has different growth in both gametophytes and tetrasporophytes. On the other hand, RGR of gametophytic discs was higher in UVB 1 treatment (0.56%) while the PAR treatment and in tetrasporophytic discs enhanced growth of tetrasporophytes (4.58%). RGR of microblades, both gametophyte and tetrasporophyte, were highest in the algae irradiated with PAR treatment (4% y 13%, respectively). Foliar area of the young thalli was higher in UVB 2 treatment while for the tetrasporophytic fronds; length RGR was higher under UVB 1 condition. Width-based RGR was higher in PAR treatment and weight-based RGR was higher on UVB 2 treatment for the gametophytes and for the tetrasporophytes was higher in UVB 1 treatment.

Key words: UV Radiation, *Sarcothalia crispata*, growth, tetrasporophyte, gametophytes, Magallanes.

1. INTRODUCCIÓN

Tanto el crecimiento de las algas, su fisiología, así como la composición de sus diferentes constituyentes orgánicos, varían en función de diversos factores ambientales. En el caso de las algas bentónicas, la radiación solar es considerada un factor de primer orden, ya que determina el grado de fotosíntesis, síntesis y acumulación de sustancias orgánicas en el talo, y además gobierna los eventos reproductivos y morfológicos. En general, las algas se han adaptado a las condiciones de luz prevalecientes en su hábitat y además son capaces de aclimatar a condiciones que varían a corto y mediano plazo (Lüning, 1990). Dentro de los cambios atmosféricos ocurridos en la última década en el planeta, el que ha llamado notoriamente la atención de científicos es el debilitamiento de la capa del ozono estratosférico, principalmente en la zona austral y en la época de primavera y verano (Skerrati *et al.* 1998). El ozono es un importante constituyente químico de la atmósfera, siendo una de sus funciones principales filtrar la radiación solar dañina para la vida (Kirchhoff, *et al.* 1997). Tomando en cuenta esta relación, una disminución en el espesor de la capa de ozono podría causar aumento sustancial en la cantidad de radiación UV-B que alcanza la superficie de la Tierra, lo cual ha comenzado a ser evaluado usando monitoreos continuos (Madronich, 1992, Kerr & McElroy, 1993).

La radiación ultravioleta (RUV) puede ser dividida en tres rangos de longitudes de onda: Ultravioleta A UVA (320-400 nm), Ultravioleta B UVB (280-320 nm) y Ultravioleta C UVC (200-280 nm). La radiación UVA tiene efectos similares a la radiación UVB pero en dosis unas 1000 veces superiores, por lo que proporcionalmente resulta menos perjudicial. Algunos autores han dado cuenta de un posible efecto favorable sobre macroalgas (Aguilera *et al.*, 1999a,b, Altamirano *et al.*, 2000, Huovinen *et al.*, 2000, Gómez *et al.*, 2001). La radiación UVB llega a la

Tierra muy atenuada por la capa de ozono. Es llamada también Radiación Ultravioleta Biológica, es muy peligrosa para la vida en general. Representa sólo el 5% de la RUV y el 0.25% de toda la radiación solar, que llega a la superficie de la Tierra. La radiación UVC, es altamente dañina para los seres vivos, y en presencia de la cual no sería posible la vida en la Tierra, es totalmente absorbida por el ozono, de modo que en ningún caso alcanza la superficie terrestre (Madronich, 1992).

Apenas unas décadas atrás, se consideraba que la RUVB carecía de importancia como factor ambiental en los ecosistemas acuáticos, pues se suponía que se absorbía totalmente en los primeros centímetros de la columna de agua. Pero desde fines de los 80s y principios de los 90s, y gracias a los adelantos tecnológicos, y a la acumulación de registros de éste tipo de radiación, se ha podido constatar que la capa de Ozono estratosférico se ha ido debilitando continuamente, con el consecuente incremento en la radiación ultravioleta que alcanza la superficie de la Tierra (Seckmeyer & McKenzie, 1992, Smith *et al.*, 1992, Booth & Madronich, 1994, Klisch & Häder, 2000). Actualmente está demostrado que la disminución en la capa de Ozono esta íntimamente ligada a los procesos de industrialización, más específicamente, a la masiva utilización de los Clorofluorocarbonos (CFCs), los cuales tienen una gran duración en el ambiente (Rowland, 1990). Estos efectos se ven potenciados por ciertas condiciones meteorológicas que aparentemente se presentan tanto en el Ártico (Hoffman & Deshler, 1991, Müller *et al.*, 1997), como en la Antártica (Farman, *et al.*, 1985, Smith *et al.*, 1992), donde se han registrado las disminuciones más notorias en el espesor de la capa de Ozono.

En organismos acuáticos la cantidad de estudios realizados es mucho menor que los efectuados en vegetales terrestres, sin embargo, se ha detectado que los aumentos en la RUVB incidente tienen varios efectos sobre varios tipos de organismos: en Cianobacterias se ha

observado una disminución en el crecimiento, desarrollo y respuestas fisiológicas (Sinha & Häder, 1997). En el caso del fitoplancton se ha determinado que elevadas dosis de UV afectan la reproducción (Häder *et al.*, 1995) y el crecimiento (Holm-Hansen *et al.*, 1993, Häder *et al.*, 1995, Klisch & Häder, 2000), observándose cambios en el aparato fotosintético y en la concentración de pigmentos involucrados en la recepción de luz, producción fotosintética (Helbling *et al.*, 1992) y metabolismo de Nitrógeno y Carbono (Döhler & Alt, 1989, Sinha *et al.*, 1995). En caso de severo estrés por efecto de radiación UVB, puede llegar a producirse daño de ADN y muerte celular (Klisch & Häder, 2000).

En macroalgas, este tipo de radiación influencia diversos procesos biológicos y bioquímicos tales como el crecimiento (Grobe & Murphy, 1994, Lesser *et al.*, 1994, Häder *et al.*, 1995, Sinha *et al.*, 1998), fotosíntesis y procesos relacionados (Figueroa *et al.*, 1997, Bischof *et al.*, 1998, Gómez *et al.*, 1998). Estos efectos a nivel fisiológico determinan patrones de distribución vertical, principalmente en el caso de especies del intermareal (Bischof *et al.*, 1998, Wiencke *et al.*, 2000). Recientemente, estudios orientados a efectos bioquímicos revelan que la radiación UVB es nociva para enzimas relacionadas con el transporte de nutrientes (Flores-Moya *et al.*, 1998, Gómez *et al.*, 1998) o asimilación de carbono, Ej. Rubisco (Bischof *et al.*, 2000). Otra de las moléculas que es especialmente sensible a la radiación UVB es el ADN, debido a la dimerización de bases nitrogenadas del ADN impidiendo la posterior replicación de la molécula y la traducción de proteínas (Pakker *et al.*, 2000 a, b). La sensibilidad de los organismos a la exposición a los rayos UVB, es específica para cada especie y puede influenciar diferencialmente cada etapa del ciclo de vida (Dring *et al.*, 1996, Swanson & Druehl, 2000, Wiencke *et al.*, 2000, Huovinen *et al.*, 2000), lo que puede traer consigo efectos a largo plazo y mayor escala sobre la producción primaria, cambios en la biodiversidad específica, y

consecuentemente de la biomasa disponible para los diferentes niveles tróficos de los ecosistemas.

Por lo tanto, en la presente investigación se examina por primera vez el posible efecto de la radiación UV sobre el crecimiento de diferentes estadios de desarrollo del alga roja *Sarcothalia* *crispata* en el estrecho de Magallanes. Esta especie está siendo explotada comercialmente y de esta forma, una evaluación de los factores fotobiológicos que afectan su desarrollo en fases tempranas constituye una información base que puede ser utilizada en futuros esfuerzos de acuicultura de la especie.

1.1 Hipótesis:

De acuerdo a los antecedentes descritos para macroalgas, tratamientos con UVB afectaran el crecimiento en relación a tratamientos desprovistos de UV (PAR). Por lo tanto se plantean la siguiente hipótesis:

*“La radiación ultravioleta afecta diferencialmente el crecimiento de discos, microtalos y plántulas de *Sarcothalia crispata* (Bory) Leister, en condiciones de laboratorio. De esta forma, discos recién germinados a partir de tetrasporas y carposporas serán más sensitivos a la radiación UVB comparado a microtalos y plántulas. Esta respuesta diferencial estará dada por las diferentes características fotobiológicas de estas fases y que se expresan en diferente tamaño y número de células”*

1.2 Objetivo general

Determinar los efectos de la radiación ultravioleta sobre el crecimiento de los estadios iniciales de desarrollo de *Sarcothalia crispata* (Bory) Leister en condiciones de laboratorio.

1.3. Objetivos específicos

- Establecer la influencia de la radiación ultravioleta y las dosis requeridas para evidenciar efectos sobre la tasa de crecimiento de discos, microtalos y plántulas (estadios de crecimiento) de *Sarcothalia crispata* (Bory) Leister.
- Determinar los efectos de la radiación UVB sobre individuos de *S. crispata* provenientes de la fase cistocárpica y tetrasporofítica (fases de la historia de vida).
- Definir cuales son las fases de desarrollo más susceptibles y/o tolerantes a la radiación UV en esta especie

1.4. Descripción de la especie

Sarcothalia crispata (Bory) Leister (ex *Iridea ciliata* Kütz) (Hommersand *et al.*, 1993) es una macroalga perteneciente a la familia Gigartinaceae, que se caracteriza por ser una especie productora de carragenano, presente en aguas frías y templadas frías de la costa del Pacífico de Sudamérica (Hommersand *et al.*, 1993). En Chile, se distribuye desde Valparaíso (33° S) hasta el Estrecho de Magallanes y Tierra del fuego (54° S) (Ramírez & Santelices, 1991; Ávila *et al.*, 1996; Ávila *et al.*, 1999). Es conocida con el nombre común de “luga negra”, distribuyéndose zonalmente desde el intermareal medio al submareal, hasta una profundidad máxima de 10 m, donde forma praderas adheridas a sustratos rocosos principalmente asociada a algas calcáreas (Poblete *et al.*, 1985, Ávila *et al.*, 1996, Romo *et al.*, 2001).

S. crispata se caracteriza por presentar un talo folioso, una o dos frondas ovaladas con numerosas proliferaciones presentes en los gametofitos pero no en los tetrasporofitos (Hommersand *et al.*, 1993), las frondas se encuentran adheridas al sustrato mediante una especie de disco adherente. Presenta proliferaciones en forma de cilios en los márgenes de la fronda, característica típica de la especie, principalmente en los estadios juveniles y adultos. El talo varía en tamaño, pudiendo alcanzar excepcionalmente hasta los 2 m. Su ciclo de vida es isomórfico y trifásico (**Fig. 1**) (Candia & Poblete, 1981; Candia, 1983). En Chile los registros tanto de la extracción de carragenofitas como la producción de carragenina reúnen además otras especies de Gigartinales tales como *Gigartina skottsbergii* Setchell & Gardner, *Chondracanthus chamosoi* (C. Agardh) Kütz, y *Mazzaella laminarioides* (Bory) Fredericq (Ávila *et al.*, 1996, Romo *et al.*, 2001). Su área de explotación está centrada, principalmente, desde la Bahía de Concepción (37° S) hasta el Archipiélago de Chiloé (44° S) (Romo *et al.*, 2001).

En Chile, la explotación de carragenofitas está centrada principalmente en *G. Skottsbergii*, siguiéndolo en importancia *S. crispata* dentro de los datos del Anuario Estadístico de Pesca para la región de Magallanes, no figuran la extracción de luga negra, sin embargo, también es extraída, por lo tanto el desembarque total de algas rojas de la región en el año 2002 fue de 2.168 toneladas, alrededor de un 3 % menos que en el 2001, mientras que a nivel nacional se extrajeron 48.776 toneladas de carragenófitas. En cuanto a las estadísticas de materia prima y producción, en la región solo figura la extracción de 2.230 toneladas de luga roja, con las que se produjeron 560 toneladas de alga seca. La producción de carragenina está siendo desarrollada en la X Región, donde se concentra el 100 % de la producción nacional. De un total de 18.365 toneladas de materia prima, se extrae aproximadamente 1.665 toneladas de carragenina (Sernapesca, 2002).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Colecta de material fértil

Para la realización del experimento, se colectaron muestras provenientes del intermareal rocoso del sector de Punta Santa Ana, localizado en la región occidental del Estrecho de Magallanes ($53^{\circ} 37' 59''$ S; $70^{\circ} 54' 47.6''$ W), XII Región (**Fig. 2**).

Fronas tetraspóricas fueron colectadas en Enero y Marzo de 2003, mientras que la fase cistocárpica fue colectada en los meses de Marzo y Mayo de 2003. Las frondas fértiles fueron trasladadas dentro de un “cooler” con agua de mar natural al laboratorio del Centro de Investigación para la Acuicultura y Recursos Marinos, perteneciente a la Universidad de Magallanes.

2.2 Selección de material y esporulación:

Para la realización del experimento, fueron seleccionadas frondas enteras, con abundante número de estructuras reproductivas y en evidente estado de madurez, aumentando así, las probabilidades de una exitosa esporulación y una mayor viabilidad de las esporas. Los talos elegidos fueron lavados bajo agua potable a presión para la eliminación de epífitos, materia orgánica, larvas de invertebrados y esporas de otras algas, evitándose de esta manera una futura contaminación. Finalmente las frondas seleccionadas fueron enjuagadas en agua de mar filtrada.

Las frondas maduras fueron cortadas en trozos de 1 cm^2 y sometidas a deshidratación sobre papel secante por un período de entre 30 minutos a una hora, dependiendo del estado de madurez de los ejemplares (**Fig. 3**). Posteriormente y con el objetivo de inducir la esporulación por shock osmótico, los trozos de frondas fueron colocados en matraces con agua de mar esterilizada y filtrada a $0.2 \text{ }\mu\text{m}$, donde se produjo la esporulación por un período de 24 h.

El supernadante de los matraces fue filtrado con un tamiz con poro de $0.25 \text{ }\mu\text{m}$, para separar las esporas de las impurezas y restos de tejido obteniéndose una solución de color rojizo (**Fig. 4**). Luego se procedió a constatar el estado de las esporas usando un microscopio de contraste de fases, NIKON eclipse E600. Para el recuento de esporas se utilizó una micropiteta SOCOREX de $1 \text{ }\mu\text{L}$ con tres replicas cuyo promedio dio el total aproximadamente de esporas por matraz. Posteriormente, las esporas fueron inoculadas en cubetas desinfectadas con alcohol al 96%, en las cuales se colocaron portaobjetos de vidrio esterilizados previamente en autoclave $120 \text{ }^\circ\text{C}$ por 20 min. (Alveal *et al.*, 1995), agregándose sobre ellos una alícuota de la solución de esporas con una densidad de 500 esporas/portaobjeto aproximadamente. Las cubetas fueron rellenas con agua de mar filtrada y esterilizada y 2 mL/L de medio de cultivo Provasoli modificado por Alveal *et al* (1995). Las cubetas fueron mantenidas por dos días en la cámara de cultivo con luz día y cubierto con Malla Rachel para bajar la intensidad lumínica ($15,2 \text{ }\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Infante & Candia, 1988) (**Fig 5**).

Después de la primera semana de cultivo se agregó Dióxido de Germanio (Ge_2O) a una concentración de 2mL/L para prevenir la contaminación del cultivo con diatomeas. Se realizaron cambios de medio semanales, y se registró su crecimiento previo al comienzo del experimento.

2.3 Diseño experimental

Para la realización del experimento se contó con un estante provisto con dos Lámparas Luz Día Osram 20W y una Lámpara de ultravioleta B (UVB) TL 40W/12RS Holland, la que se cubrió con un filtro de acetato de celulosa Goofellow, England, para eliminar el aporte de UVC producido por esta. Para la obtención de las diferentes intensidades de radiación UVB, la lámpara de luz ultravioleta B fue cubierta con malla rachel para disminuir la intensidad de la radiación emitida, y obtener dos tratamientos con intensidades de UVB diferentes: $0,03 \text{ W m}^{-2}$ de RUVB + $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de PAR (UVB 1) y $0,06 \text{ W m}^{-2}$ de RUVB + $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de PAR (UVB 2), más el control, sin UVB, es decir, solamente con Radiación fotosintéticamente activa (PAR) cuya radiación promedio fue de $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Cada tratamiento contó de tres réplicas (**Tabla 1**).

El experimento se desarrolló en dos etapas para cada fase del ciclo de vida, en la primera parte, se irradiaron los especímenes desde discos hasta la aparición del microtalo y en una segunda fase se irradiaron plántulas cuyo talo contaba con más de 0,5 mm de largo.

Sobre la base de que la sobrevivencia de las esporas es de aproximadamente el 70% para esta especie, la densidad inicial de la solución utilizada para la inoculación fue de 500 esporas/portaobjeto. Estos especímenes se mantuvieron en cultivo por más de 100 días, período durante el cual se debió trabajar de manera bastante cuidadosa, tratando de evitar la contaminación frecuente, principalmente de clorofíceas filamentosas, localizadas alrededor del disco de fijación de *Sarcothalia*. El problema de contaminación fue reducido por medio de limpiezas periódicas (cada 3-4 días), proceso que producía desprendimiento de algunos ejemplares más débilmente asentados. A pesar de éstos inconvenientes inherentes a éste tipo de

experimentos, se mantuvo una densidad adecuada de “germlings” obtenidos a partir de tetrasporas, mientras que los desarrollados a partir carpósporas fueron eliminados, debido a una sobrevivencia insuficiente para montar el experimento de irradiación. En Marzo de 2003, se realizó una segunda salida a terreno, donde se recolectaron ambas etapas reproductivas, mediante el mismo procedimiento se obtuvieron densidades iniciales de 10.500 esporas/mL, para las frondas tetraspóricas y de 7.433 esporas/mL, para las frondas cistocárpicas, en ambos casos se obtuvo una adecuada sobrevivencia para la realización del experimento, las tetrasporas fueron cultivadas por un mes para ser irradiadas desde discos y las carposporas se mantuvieron por 120 días para ser utilizadas en las experiencias desde plántulas.

Luego, en el mes Julio, se hizo una nueva salida a terreno, para recolectar frondas cistocárpicas, de las cuales se obtuvo una densidad de esporulación de 1.870 esporas/mL, se extrajo una alícuota para alcanzar una densidad de cultivo de 1.000 esporas/portaobjetos, después de un mes de cultivo se obtuvieron ejemplares suficientes para iniciar el experimento para la irradiación a partir de discos.

2.3.1 Condiciones de iluminación

Los experimentos fueron mantenidos bajo un fotoperiodo de 16:8 luz: oscuridad que corresponde al fotoperiodo de verano de la región, la irradiación de UVB fue calculada mediante la utilización de la tabla de marea anual, contabilizando las horas durante las cuales, las macroalgas quedan expuestas a los rayos solares directos, obteniéndose como resultado promedio un valor de 03 horas diarias de exposición. Este tiempo de exposición fue dividido en tres

periodos de tiempo: de 10:00 a 11:00 hrs, de 13:00 a 14:00 hrs. y de 16:00 a 17:00 hrs., resultando en una dosis diaria de 324 J m^{-2} , en el tratamiento UVB 1, y 648 J m^{-2} en el caso del tratamiento UVB 2. La decisión de no irradiar en forma continua, se debe a que las algas solamente están expuestas directamente durante los períodos de bajamar y también debido a la frecuente cobertura nubosa muy común en ésta región del país.

La irradiancia de las lámparas fue controlada semanalmente utilizándose un Fotómetro Radiómetro Solar Light CO. PMA 2200 para constatar el estado del filtro y así reemplazarlo.

2.3.2 Tratamiento de esporas

Las tetrasporas fueron inoculadas el 28 de Enero de 2003 y las carposporas el 05 de Julio de 2003, después de un mes de cultivo se comenzaron a irradiar. Los discos asentados en los portaobjetos fueron colocados en recipientes de vidrio con 250 mL de agua de mar filtrada a $0.2 \mu\text{m}$ con Provasoli y dióxido de germanio (Alveal *et al.*, 1995).

2.3.3 Tratamiento de plántulas

Las plántulas fueron cultivadas de la manera antes mencionada. Los gametofitos inoculados el 28 de Enero de 2003 y después de 132 días de cultivo, fueron liberados de los portaobjetos y separados en tres tratamientos con tres réplicas cada uno, contando con 15 plántulas cada réplica (**Fig. 6**). En cuanto a los esporofitos, fueron inoculados el 28 de Marzo de 2003, después de 121

días de cultivo fueron liberados de los portaobjetos y separados en grupos de 10 talos que constituirían las réplicas de cada tratamiento. Las plántulas se irradiaron utilizando las mismas intensidades aplicadas a los discos y microtalos (la diferencia en los días de cultivo inicial, se debió a que los tetrasporofitos se desarrollaron mas rápidamente).

2.3.4 Determinación de parámetros de crecimiento

El muestreo se inició fotografiando a los especímenes antes de empezar el experimento, siendo éste considerado el día 0 del estudio, luego se realizaron muestreos cada 3-5 días promedio. Semanalmente se llevó un registro del crecimiento mediante fotos digitales tomadas a partir del microscopio y/o lupa. Las esporas fueron medidas con una cámara DAGE-MTI DC200 incorporada a un microscopio NIKON eclipse E600 y a partir de la aparición del talo, se utilizó una Lupa NIKON SMZ800. Las fotos fueron procesadas mediante la utilización del programa computacional Image-Pro Plus versión 4.1. Las mediciones consistieron en registrar el diámetro del disco de las esporas y luego al aparecer el talo se midió la longitud de éste. En cuanto a las plántulas se procedió a la toma de fotos para medir área, largo y ancho máximos, luego y debido a que el tamaño de las algas no permitía su visualización a través de la lupa, las fotografías fueron captadas a través de una cámara digital SONY MVC-FD71.

Para la adquisición de fotografías de plántulas de mayor tamaño, los ejemplares se dispusieron junto a cuadrados de tamaño conocido y luego al obtener las medidas con el programa computacional, se calcularon los valores reales lo cual fue realizado a través de reglas

de tres simple. Paralelamente, se llevó un registro del incremento de biomasa húmeda utilizándose una balanza de alta precisión SHIMADZU AW2200 (máx. 220g df 0.1mg).

Con estos datos se procedió a calcular la tasa de crecimiento diario mediante el siguiente algoritmo dado por Hansen (1980):

$$\text{TCD (\%)}: 100 (\text{Ln}(N_t / N_o)) / t$$

Donde:

TCD (%): Tasa de Crecimiento Diario en porcentaje

N_t: longitud o diámetro final

N_o: longitud o diametro inicial

t: tiempo (días)

Para comparar el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de los discos, microtalos y plántulas se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores. Posteriormente y sobre los tratamientos con diferencias significativas se aplicó el Test de Tukey de comparaciones múltiples (Sokal & Rolhf, 1979, Iman, 1994).

3.- RESULTADOS

3.1 Esporulación

La primera inoculación fue realizada en Enero de 2003, se extrajeron frondas tetraspóricas y cistocárpicas, las que fueron sometidas a esporulación, se observó al microscopio el estado de las esporas, considerándose como indicadores de una exitosa esporulación, tanto la pigmentación, densidad y forma de las esporas, posteriormente se contabilizó el número de esporas, obteniéndose desde las frondas tetraspóricas una densidad de 1.933 esporas/mL y de las frondas cistocárpicas 8.433 esporas/mL, las cuales fueron mantenidas en cultivo para luego montar los experimentos. Las tetrasporas presentaron una buena sobrevivencia y germinación, mientras que en el caso de las carposporas se registró un reclutamiento similar al de las tetrasporas, pero se presentaron altos porcentajes de mortalidad, por lo cual se desechó el cultivo.

En Marzo de 2003 se realizó otra colecta, en la cual se extrajeron ejemplares de ambas etapas reproductivas, se indujeron a esporulación, obteniéndose una densidad de 10.500 tetrasporas /ml y de 7.433 carposporas /mL.

La última colecta fue realizada en Julio de 2003, se extrajeron frondas cistocárpicas para montar la otra etapa del experimento, se siguieron los mismos métodos de las demás esporulaciones, obteniéndose una densidad de 1.870 carposporas /mL.

Como resultado de la esporulación, se registró el tamaño promedio de las esporas a partir de lo cual se obtuvieron carposporas cuyo diámetro promedio fue de $23,23 \pm 2,58 \mu\text{m}$ (**Fig. 7**), por otro lado la tetrasporas presentaron un diámetro promedio de $22,89 \pm 2,71 \mu\text{m}$ (**Fig. 8**).

3.2 Crecimiento de discos: Tetrasporofitos

Después de un mes de cultivo y alcanzado ya el estado de disco (**Fig. 9**), se comenzó el experimento. La primera medición fue realizada un día previo al comienzo de la exposición, donde se registró el tamaño inicial promedio, correspondiente al día 0, los discos de tetrasporofitos del tratamiento PAR presentaron un diámetro de $181 \pm 28 \mu\text{m}$, mientras que los discos del tratamiento UVB 1 presentaron un tamaño inicial promedio de $218 \pm 92 \mu\text{m}$ y en el tratamiento UVB 2, el diámetro inicial promedio fue de $207 \pm 22 \mu\text{m}$.

Los tetrasporofitos medidos al 5° día de exposición registraron un crecimiento significativo, de alrededor del 25% aproximadamente, en todos los tratamientos, siendo el incremento mayor en los ejemplares del tratamiento PAR (30%) y el menor en los del tratamiento UVB 1 (13%), respecto de la medición anterior. En los días posteriores, se observó un incremento sostenido de un 4% diario, en promedio, en todos los tratamientos, hasta el día 11 (**Fig.10; Tabla 2**).

En el caso de los tratamientos con UV, el día 11 no fueron encontrados discos de tetrasporofitos para una de las repeticiones del tratamiento con UVB 1 (**Fig. 11**), ni en las muestras de una de las repeticiones del tratamiento con UVB 2 (**Fig. 12**).

La variación del crecimiento entre el día 0 y el 5, fue significativa ($p < 0.05$), al igual que entre las mediciones del día 5 y el 8, pero el incremento no fue significativo desde el día 8 en adelante, a su vez, los ejemplares irradiados con PAR crecieron significativamente menos que los irradiados con UVB 1 y UVB 2 (**Tabla 2**).

Al analizar las Tasa de Crecimiento Diario (TCD) de los discos de tetrasporofitos, las mayores TCD del periodo fueron registradas en los ejemplares expuestos a radiación PAR ($4,59\% \text{ d}^{-1}$), seguida por los irradiados con el tratamiento UVB 2 ($3,85\% \text{ d}^{-1}$) y finalmente los discos mantenidos bajo el tratamiento UVB 1 exhibieron las menores TCD ($3,20\% \text{ d}^{-1}$) (**Fig. 13**).

En la **Figura 14**, representa la variación de la tasa de crecimiento diario entre muestreos, donde se puede observar una disminución del crecimiento en los tratamientos PAR y UVB 2 a medida transcurren los días de experimentación, pero en el tratamiento UVB 1 no se encontró una tendencia clara.

3.3 Crecimiento de discos: Gametofitos

El día 0, los discos de gametofitos del tratamiento PAR presentaron un diámetro de $179 \pm 39 \mu\text{m}$, mientras que los discos del tratamiento UVB 1 presentaron un tamaño inicial promedio de $188 \pm 39 \mu\text{m}$ y en el tratamiento UVB 2, el diámetro fue de $174 \pm 40 \mu\text{m}$ (**Fig. 15**).

El segundo control de los gametofitos fue realizada el día 14, día en el cual se registró el mayor incremento en diámetro para todos los tratamientos (43% promedio), a su vez éstos fueron

los mayores valores alcanzados durante todo el periodo de experimentación, posteriormente, los valores se mantuvieron entre 200 y 240 μm hasta el día 38 (**Fig.16**).

Los promedios de crecimiento para el periodo de experimentación denotaron diferencias significativas entre los discos sometidos a UVB 1 respecto de los irradiados con los tratamientos PAR y UVB 1 (**Tabla 3**).

Las TCD experimentadas por los discos de gametófitos fueron alrededor de 10 veces menores que las de los discos de tetrasporofitos. Los discos irradiados con UVB 1 experimentaron la mayor TCD (0,62% d^{-1}), seguidos por los tratamientos PAR (0,50% d^{-1}) y UVB 2 (0,41% d^{-1}) (**Fig. 17**).

3.4 Crecimiento de microtalos: Tetrasporofitos

Los microtalos de los tetrasporofitos comenzaron a ser observados, para el tratamiento con PAR, a partir del octavo día, registrándose una longitud promedio de $54 \pm 16 \mu\text{m}$. Para los tratamientos irradiados con RUV (UVB 1 y UVB 2) los microtalos fueron observados desde el quinto día, presentando tamaños promedio de $92 \pm 37 \mu\text{m}$ para el tratamiento UVB 1 y de $72 \pm 52 \mu\text{m}$ para el tratamiento UVB 2 (**Fig. 19**). El octavo día los microtalos sometidos a radiación UV, experimentaron crecimientos de aproximadamente un 13%, respecto de la medición anterior. El día 11, los ejemplares irradiados solamente con luz PAR, presentaron un crecimiento de 152% respecto de la medición anterior, a su vez los del tratamiento UVB 1 alcanzaron una longitud de $183 \pm 86 \mu\text{m}$, es decir, incrementaron en un 86%, mientras que los del tratamiento UVB 2 crecieron un 46% respecto del muestreo anterior, alcanzando todas longitudes similares (**Fig. 19**).

Los mayores crecimientos del periodo de irradiación fueron observados el día 18, presentándose incrementos superiores al 100% en todos los tratamientos. Los microtalos sometidos al tratamiento UVB 2, experimentaron un incremento mayor en comparación con los demás tratamientos, entre 123 ± 53 hasta $413 \pm 175 \mu\text{m}$, es decir, un 235%.

El día 22 del experimento (**Fig. 20**), los microtalos provenientes de carposporas y sometidos a radiación UV incrementaron su tamaño aproximadamente 47%, en cuanto que los no irradiados, presentaron un incremento cercano al 10%.

Las observaciones de incremento en tamaño realizadas el día 35, mostraron que los tetrasporofitos, presentan valores promedio más elevados en el tratamiento UVB 1 ($2382\mu\text{m}$), y, UVB 2 ($1715 \mu\text{m}$), seguido de aquellos correspondientes al tratamiento con luz PAR ($1494 \mu\text{m}$).

Al cabo de un mes de exposición, los tetrasporofitos presentan un crecimiento cercano al 220% mas elevado que los gametofitos expuestos a UVB y solo un 150% en los expuestos a PAR. Los microtalos mantenidos bajo el tratamiento PAR crecieron significativamente menos ($p < 0.05$, Anova- Tukey test) que en los tratamientos UVB 1 y UVB 2, mientras que entre ellos no hubo diferencias (**Fig. 19; Tabla 4**).

En el caso de los microtalos de tetrasporofitos, se pudo apreciar que la mayor TCD se obtuvo en el tratamiento sometido a radiación PAR (11,82 %) en tanto que el valor más bajo se registró en el tratamiento UVB 1 (9,37%) (**Fig. 21**).

Los microtalos irradiados con PAR presentaron una tasa de crecimiento en el primer tramo del experimento de $30,3\% \text{ d}^{-1}$, posteriormente el crecimiento disminuyó, llegando al $5\% \text{ d}^{-1}$ en la siguiente medición, luego estas estimaciones tendieron a estabilizarse entre $10\text{-}15\% \text{ d}^{-1}$, hasta el final del experimento. Los especímenes sometidos a UV presentaron incremento en las tasa de

crecimiento desde 2 a 20% d^{-1} entre las mediciones realizadas entre los días 0 y 18, posteriormente los ejemplares sometidos a UVB 1 se mantuvieron entre 10-15% d^{-1} hasta el fin del experimento. Los microtalos del tratamiento UVB 2 presentaron incrementos y disminuciones sucesivas, exhibiendo, en el último periodo de control, entre el día 31 y 35, la menor tasa de todo el experimento. (**Fig. 22**).

3.5 Crecimiento de microtalos: Gametofitos

Los primeros microtalos de gametofitos, fueron observados en todos los tratamientos, a partir del día 22 del experimento. Los tamaños iniciales registrados fueron de aproximadamente 270 μm (**Fig. 23**). Para el día 28 del experimento, microtalos de gametofitos no registraron importantes aumentos de tamaño. Mediciones realizadas el día 31, permitieron observar que los microtalos de los gametofitos presentaron leves variaciones en el tamaño entre replicas, situación no reflejada en los promedios totales (**Fig. 24**).

Comparando los incremento en tamaño de los microtalos, se puede decir que, las mediciones siguientes no tienen diferencias significativas ($p > 0.05$, ANOVA-Tuckey test), pero si las hay, con la medición anterior o con la subsiguiente, por ejemplo el tamaño registrado el día 22 y 28 no tienen diferencias, pero si las hay entre los días 22 y el día 14, esto se repitió hasta el fin del experimento. Por otro lado las medias de los tratamientos indican que no hay diferencias entre ellos (**Tabla 5**).

Al analizar las Tasas de Crecimiento Diario (TCD), se pudo constatar que los microtalos de gametofitos, presentaron tasas de crecimiento muy similares para cada uno de los tratamientos, siendo mayores las registradas para el tratamiento con UVB 1 ($4,2\% \text{ d}^{-1}$), en comparación con las del tratamiento PAR ($3,7\% \text{ d}^{-1}$) y el tratamiento UVB 2 ($3,6\% \text{ d}^{-1}$) (**Fig. 25**).

Las TCDs de los microtalos gametofíticos no mostraron tendencias claras a lo largo del experimento. Los ejemplares sometidos al tratamiento PAR, entre los días 14 y 22, presentaron una tasa de crecimiento de $4,3\% \text{ d}^{-1}$, la cual fue mayor a la de los demás tratamientos. En el periodo siguiente (día 22 al 29), los especímenes sometidos a el tratamiento UVB 2, presentaron el mayor crecimiento del periodo ($12,3\% \text{ d}^{-1}$), sucedido por el tratamiento UVB 1 ($5,2\% \text{ d}^{-1}$) y finalmente PAR ($0,5\% \text{ d}^{-1}$). Luego, en el último periodo los microtalos irradiados con el tratamiento libre de UV, presentaron la mayor TDC. ($7,3\% \text{ d}^{-1}$) y la menor tasa fue observada en los microtalos irradiados con la intensidad mayor de UV (**Fig. 26**).

3.6 Crecimiento de plántulas: Tetrasporofitos

Para iniciar los experimentos se utilizaron plántulas de gametofitos de 163 días y tetrasporofitos de 120 días (**Fig. 27**), a pesar de la diferencia en los días de cultivo, los tetrasporofitos presentaban tamaños 7 veces mayor que los gametofitos (**Fig. 28**). Para cada réplica y en todos los tratamientos se incluyó la mayor variedad de tallas encontradas en los cultivos para que estén todos los tamaños representados en los experimentos.

Las observaciones del incremento del área foliar (**Fig. 29**), mostraron en el caso del tratamiento PAR, un crecimiento sostenido de alrededor de un 17% hasta el día 14, posteriormente desde el día 14 al 21, incremento fue cercano a 0, seguido de un nuevo periodo de incremento, los mayores del experimento, seguidos de otro periodo de bajo crecimiento, para luego en el último control crecer en un 20%. Los mayores crecimientos se presentaron en el tratamiento UVB 1, durante los dos primeros controles, luego desde el día 10 al 24, los incrementos del área fueron de menos del 10%, mientras que en los controles siguientes se registraron mayores y menores porcentajes de crecimiento, la misma tendencia fue observada en el tratamiento UVB 2.

El otro parámetro controlado fue el largo del talo (**Fig. 30**), donde se observó un mayor crecimiento en la etapa inicial del experimento (días 4-10), posteriormente los incrementos fueron sostenidos, pero menores al 10% en todos los tratamientos.

El incremento del ancho foliar de los tres tratamientos mostró la misma tendencia, presentando dos picks de crecimiento uno al inicio del experimento, entre los controles del día 4 y 10, y otro a ocho días del final de este, manteniéndose las plántulas del tratamiento PAR, del inicio al fin del periodo de experimentación, con tamaño levemente mayor que los tratamientos restantes (**Fig. 31**).

Las plántulas del tratamiento PAR presentaron mayor biomasa desde el inicio de las mediciones hasta el día 18, mientras que los ejemplares de los demás tratamientos mantuvieron biomasa e incrementos similares (13 %, promedio), para el día 21 las biomasa de los tres tratamientos se igualaron, lo que se mantuvo hasta el final del experimento (**Fig. 32**).

El crecimiento del área experimentado por las plántulas tetrasporofíticas los cuatro primeros días de irradiación no fue significativamente diferente, luego de esto, se presentó un periodo de crecimiento sostenido sin grandes diferencias, es decir, estas no fueron significativas, después del día 24 y hasta el penúltimo control, se observó otro grupo de mediciones sin significativos incrementos, para el días 39 un tamaño significativamente mayor. Por otro lado las plántulas sometidas al tratamiento PAR alcanzaron un tamaño significativamente menor que los registrados en los demás tratamientos, no encontrándose diferencias entre los tratamientos que incluían RUVB, además no se registró interacción entre los días de exposición y los tratamientos utilizados (**Tabla 6**).

Las plántulas tetrasporofíticas mostraron un crecimiento, en cuanto al largo foliar, en dos etapas, un crecimiento inicial sin diferencias significativas entre el día 0 y el día 4 y luego del día 10 hasta el final del experimento, entre ambos grupos de crecimiento hubo diferencias significativas. Los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre sí (**Tabla 7**).

El ancho del talo, también mostró crecer en etapas, entre el inicio y la medición realizada el día 10 del experimento no se encontraron diferencias significativas, esto también se observó entre el día 14 y el 21, y luego entre el 24 y el 39, existiendo diferencias significativas entre estos grupos de crecimiento. Los ejemplares irradiados solo con PAR crecieron significativamente más que los irradiados con RUV-B, los que no presentaron diferencias de crecimiento entre ellos (**Tabla 8**). No se registró interacción entre el tiempo de exposición y los diferentes tratamientos para ningunos de los parámetros controlados.

El área foliar de las plántulas de ambas fases, presentó una TCD mas elevada en los tratamientos con UVB 2 (4,2%) (**Fig. 33**). Las TCD para largo y ancho foliar de las plántulas tetrasporofíticas, fue más elevada en los tratamientos con UVB 2. Por otro lado, la TCD del ancho de las frondas presentó un mayor incremento en el tratamiento bajo luz PAR. Con respecto a la biomasa, la TCD de los tetrasporofitos, fue mayor para el tratamiento con UVB 1 (**Fig. 34**).

3.7 Crecimiento de plántulas: Gametofitos

El área foliar de los gametofitos tuvo un crecimiento claramente lineal durante todo el experimento, sin grandes variaciones en los valores medidos para cada replica de los tres tratamientos (**Fig. 35**).

La longitud de las plántulas de los gametofitos presentó la misma tendencia que el área foliar, sin embargo, los incrementos fueron menores, lo que se puede constatar en la menor pendiente existente en las curvas de crecimiento para todos los tratamientos, con un aumento progresivo de las desviaciones hacia el término del experimento (**Fig. 36**).

Los gametofitos mostraron una relación directa entre los días de exposición y el ancho de los talos, reflejado en una pendiente menor, para todos los tratamientos (**Fig. 37**).

La biomasa húmeda de los gametofitos incrementó en forma exponencial, no observándose variaciones entre los tratamientos (**Fig. 38**).

Desde el día 0 al día 8 no hubo variaciones significativas en el crecimiento del área foliar, pero al 12° día presentaron un crecimiento significativo respecto de las mediciones anteriores, luego, en los controles posteriores no se encontraron diferencias significativas (**Tabla 10**).

El largo de las plántulas tuvo un crecimiento sin diferencias significativas en controles sucesivos, pero se presentaron diferencias con las mediciones anteriores y las subsiguientes (**Tabla 11**).

El incremento del ancho foliar de los gametófitos, tuvo una tendencia inicial, hasta el día 17, sin diferencias significativas entre controles sucesivos, pero luego, las tres mediciones siguientes mantuvieron incrementos significativos (**Tabla 12**).

La biomasa húmeda del grupo de plántulas que conformaba las réplicas se encontró la misma tendencia que para el crecimiento en largo y ancho foliar (**Tabla 13**).

No se encontraron diferencias significativas entre los ejemplares sometidos a los distintos tratamientos y no se registró interacción entre el tiempo de exposición y los diferentes tratamientos para ningunos de los parámetros controlados.

El área foliar de las plántulas gametofíticas presentó una TCD mas elevada en los tratamientos con UVB 2 (3,5%) (**Fig. 39**). Las TCD para largo y ancho foliar de los gametófitos, fue más elevada en los tratamientos con UVB 2. Con respecto a la biomasa (**Fig. 40**), la TCD de los gametofitos presentó mayores valores en el tratamiento con UVB 2

4 DISCUSION

4.1. Estacionalidad del ciclo de vida y desarrollo de fases tempranas.

Las algas marinas bentónicas, en su mayoría, presentan ciclos de vida con marcados cambios estacionales en crecimiento y reproducción (Poblete *et al.*, 1985). Como este estudio no estuvo enfocado en la determinación de la estacionalidad reproductiva de la pradera, durante las colectas se extrajeron cantidades proporcionales a las presentes en la pradera.

Las condiciones de cultivo elegidas para *Sarcothalia crispata* son concordantes con las descritas en la literatura donde se describen que las mejores tasas de crecimiento se obtienen utilizando fotoperíodo de verano (16: 8) y un flujo fotónico alto (Poblete *et al.*, 1985; Infante & Candia, 1988; Mansilla *et al.*, 2002).

La diferencia entre las densidades de esporulación entre ambas fases de *S. crispata*, encontradas en Enero puede deberse a que durante la colecta había presente mayor cantidad de frondas cistocárpicas que tetraspóricas lo que estaría de acuerdo con lo observado por Poblete *et al.* en 1985, y Ávila *et al.* (1996) en colectas realizadas en Chiloé, donde se encontró predominancia de gametofitos, la presencia de frondas con cistocarpos y no encontrándose de tetrasporofitos.

En el mes de Marzo se observó mayor presencia de talos tetraspóricos maduros, situación que se reflejó en una abundante liberación de tetrasporas, esto concuerda con los antecedentes descritos por Ávila *et al.* (1996) y Ávila *et al.* (1999) en praderas ubicadas en Chiloé. Por otro lado, para praderas localizadas al Norte (Concepción, Valdivia), se encontró predominancia, de la

fase cistocárpica, durante todo el año (Poblete *et al.*, 1985, Godoy, 1994, Infante & Candia, 1988).

Ávila *et al.*, (1999) mencionan que durante el invierno se produce una mayor liberación de tetrasporas, lo cual repercute en una disminución de la biomasa de esta fase en la pradera. En el presente estudio, durante la colecta de Junio, se pudo constatar una disminución en la presencia de algas tetraspóricas en el lugar de colecta, esta tendencia fue también documentada por otros autores como Godoy (1994) y Chávez (1998).

Los discos provenientes de carposporas se observaron solo hasta el día 11 de exposición, a partir del cual todos los ejemplares desarrollaron los primeros esbozos de talo, pasando a ser considerados como microtalos, en cambio los discos provenientes de tetrasporas se presentaron hasta el 38 de exposición, apareciendo más rápido los microtalos en los ejemplares sometidos a UVB en el caso de los discos provenientes de carposporas, esta diferencia en el tiempo de desarrollo fue encontrada también por Navarro (2000), mientras que en otras Rhodophytas como *Gracilaria* y *Mazzaella* se manifestaron crecimientos más rápidos de los individuos germinados a partir de tetrasporas, observaciones descritas por Jones (1959), Edelstein (1977), Möller & Westermeier (1988) y Mansilla *et al* (2002).

4.2. Efectos de la radiación UVB sobre el crecimiento de fases del ciclo de vida de *Sarcothalia crispata*

Discos provenientes de carposporas de *Sarcothalia crispata* irradiados solo con radiación fotosintéticamente activa (PAR) presentaron mayor crecimiento comparado con los discos

irradiados con UVB ($p < 0,0001$). En el caso de los discos gametofíticos, el crecimiento fue mucho menor que el de las tetrasporas y además fue menos afectado por los tratamientos aplicados ($R^2 < 0,1$). Además, las tasas de crecimiento a lo largo del experimento presentaron una gran variabilidad (**Fig.18**). En general los discos provenientes del tratamiento UVB 1 mostraron una mayor tasa de crecimiento promedio (ANOVA $p < 0,05$).

Las diferencias de crecimiento entre “germlings” provenientes de tetrasporas (n) y los de carposporas (2n) en *Sarcothalia crispata* puede deberse a un componente genético, situación atribuida a la naturaleza haploide de las tetrasporas y diploide en el caso de las carposporas. Sin embargo debido a la alta variabilidad en las tasas de crecimiento de los “germlings” gametofíticos es difícil definir un patrón claro. Sin embargo, estos resultados de alguna forma coinciden con lo reportado por Hanelt et al. (1997a) quienes indican que fases gametofíticas en *Laminaria saccharina* son menos sensitivas a alta radiación que fases esporofíticas tempranas. En general, las fases tempranas de desarrollo están muy bien adaptadas a baja luz ya que son liberadas en invierno y deben crecer bajo la canopia de las algas adultas (Gómez & Wiencke, 1996, Hanelt et al., 1997a). Estudios comparativos realizados en algas pardas indican claramente que meiosporas y gametofitos filamentosos del género *Laminaria* (Phaeophyta) son mucho más susceptibles a la radiación UV que plantas esporofíticas adultas (Dring et al., 1996). Al parecer, este mayor efecto esta dado por el características morfo-funcionales de los talos durante la germinación ya que ellas presentan menos células y por lo tanto la radiación UV incidente puede llegar mas fácilmente a las moléculas sensitivas. Por contraste, plantas adultas han desarrollado mayor número de capas de células las cuales ejercen un efecto de sombreado (self-shading) (Hanelt et al., 1997 a, Huovinen et al., 2000). Esta mayor susceptibilidad de las esporas y fases tempranas de desarrollo determinan a veces la distribución vertical de las poblaciones de algas, lo

cual estaría dado por la viabilidad y/o mortalidad de esporas una vez liberadas (Wiencke *et al.*, 2000).

La aparición del talo, a partir de los discos de tetrasporofitos, irradiados con PAR, demoró alrededor de tres días más que los discos irradiados con UV, mostrando al principio del experimento una tasa de crecimiento alta ($30\% \text{ d}^{-1}$), la cual disminuyó hasta llegar a menos de un $5\% \text{ d}^{-1}$ para posteriormente estabilizarse en alrededor de un $10\% \text{ d}^{-1}$.

En el caso de los ejemplares irradiados con UV, estos mostraron un crecimiento inicial de un $5\% \text{ d}^{-1}$, posteriormente alcanzaron un crecimiento entre $15\text{-}20\% \text{ d}^{-1}$, que fluctuó entre $0\text{-}15\% \text{ d}^{-1}$, hasta el final del experimento (**Fig. 22**).

Los microtalos de tetrasporofitos irradiados con la menor intensidad de UVB, registraron un tamaño mayor al registrado por los irradiados con la intensidad más alta, lo que sugiere que esta última, está influenciando en forma perceptible el crecimiento de los “*germlings*” de *Sarcothalia* lo que indicaría que después de un periodo prolongado, la radiación UV podría volverse beneficiosa situación ya observada por Altamirano *et al.* (2000) para *Ulva rigida*. Por otra parte, Flores- Moya *et al.* (1999) quienes en estudios recientes indican que la UVB, bajo ciertas condiciones ambientales de PAR, pueden incluso tener efectos beneficiosos sobre los procesos fotobiológicos en macroalgas.

El crecimiento de los microtalos de gametófitos no reveló influencias de ninguno de los tratamientos utilizados (ANOVA $p > 0,05$), sin embargo, la mayor tasa de crecimiento fue registrada en los microtalos irradiados con UVB 2, pero con gran variación entre los muestreos (**Fig. 26**), situación que podría deberse a una preadaptación de los “*germlings*” que provienen de esporofitos colectados a fines de verano y que podrían presentar una alta concentración de

pigmentos lo que les permitiría sobrevivir bajo condiciones variables de luz como lo descrito para la macroalga *Desmarestia menziesii* por Gómez & Wiencke (1996).

Los estadios más tempranos de *S. crispata*, es decir, discos y microtalos respondieron de la misma manera a los distintos tratamientos aplicados, mostrando que el crecimiento de los gametófitos es afectado en forma adversa claramente por la radiación PAR, mientras que en el caso de los tetrasporofitos, parecen ser estimulados positivamente, con relación al crecimiento, por esta parte del espectro radiante, dichos efectos también han sido referidos por van de Poll *et al.* (2001). Probablemente esto estaría reflejando diferencias en las características fotobiológicas de ambas fases y que podrían ser relacionado con la estacionalidad de la esporulación y germinación. Probablemente las tetrasporas son formadas más tarde en la estación así que los discos se desarrollan bajo condiciones de mayor UV. Por el contrario las carposporas son más vulnerables a la radiación UV pues germinan más al invierno.

Las plántulas tetrasporofíticas presentaron una mayor tasa de crecimiento en los tratamientos con UVB, en dos de los tres parámetros controlados, solo en el incremento del ancho foliar mostró mayor crecimiento al ser irradiado solo con PAR. Por otro lado, la longitud del talo no fue influenciado por ningún tratamiento ($p > 0,34$). Las plántulas gametofíticas irradiadas con intensidad mayor de UVB presentaron una mayor TCD en parámetros como el área y la longitud y en el caso del ancho y la biomasa el tratamiento UVB 1 mostró mayor tasa de crecimiento, pero su crecimiento no parece responder a la influencia de ningún tratamiento (**Tabla 10, 11, 12, 13**), lo que puede indicar que las plántulas están más adaptadas a la influencia de la radiación ultravioleta que los estadios más tempranos, ya que estos últimos están menos expuestos a los rayos solares directos debido a que por su tamaño, en el ambiente natural, quedan cubiertas por otras algas o por la sombra proporcionada por las rocas circundantes. El que las plántulas

gametofíticas no sean influenciadas por los niveles de radiación utilizados, al igual que los microtalos, puede deberse a que a medida que crecen aumentan la concentración de micosporine like amino acid (MAAs) o torna más eficiente su sistema de disipación de energía, lo que coincide con lo descrito para *Gelidium* por Häder *et al.* (2001).

Otro mecanismo de protección contra RUV es la producción de pigmentos protectivos, tales como, los carotenoides o los MAAs que absorben UV (Karentz *et al.*, 1991). La presencia de estos compuestos que absorben el UV han sido reportados a ocurrir abundantemente en algas rojas (Karsten *et al.*, 1998, Huovinen *et al.*, 2004), pueden jugar un rol vital como primera barrera o línea de defensa contra estos factores de estrés ambiental en su hábitat natural (Sinha *et al.*, 2000). Los pigmentos accesorios como la ficoeritrina y ficobilina pueden optar como la segunda línea de defensa contra el fotodaño y ayudan al organismo a sobrevivir en ambientes altamente irradiados (Sinha *et al.*, 1998, 2000). Los flavonoides y pigmentos relacionados fueron reportados explicar también una gran parte del porcentaje de la atenuación. (Dawson & Dennison, 1996). Los compuestos fenólicos y MAAs son sintetizados por algas para minimizar el fotodaño producido por RUV (Franklin *et al.*, 1999). Las Rodófitas en general y algunas Phaeophyta y Chlorophyta son conocidas por sintetizar y acumular MAAs en ecosistemas templados y tropicales (Karsten *et al.*, 1998). La exposición prolongada a elevadas irradiancias induce no solo a la disminución significativa de la eficiencia fotosintética, sino también a la pérdida de gran parte de los pigmentos fotosintéticos que puede ser responsable por el daño (Chow, 1994).

En resumen, se puede decir con respecto a la tasa de crecimiento, tanto los discos como los microtalos de tetrasporofitos, parecieron ser influenciados negativamente por la radiación UV, mientras que los estadios iniciales de los gametofitos no mostraron tendencias claras respecto de los tratamientos utilizados.

La morfología y estructura del talo, particularmente las propiedades de absorción de luz y la composición pigmentaria podrían afectar las tasas fotoinhibitorias (Figueroa & Gómez, 2001). Las especies del submareal superior o las zonas intermaerales más bajas y que tienen estructuras delgadas son las más sensibles al impacto de la RUV (Makarov, 1999).

4.3. Bases fisiológicas de las respuestas ante la radiación UVB y PAR

Los efectos causados por el incremento de la RUV, pueden influenciar, en mayor o menor grado, los procesos fisiológicos debido a que cada especie tiene la capacidad de adaptarse a un ambiente cambiante (Dawson & Dennison, 1996).

Los resultados de este estudio indican que existen diferencias en la susceptibilidad del crecimiento en *Sarcothalia crispata* dependiendo de la fase reproductiva. Gran parte de estas diferencias podrían ser atribuidas a la capacidad del aparato fotosintéticos de estas fases para aclimatar mediante ajustes metabólicos a las condiciones experimentales de iluminación. Fotoinhibición de fotosíntesis es un fenómeno descritos por varios autores (Hanelt *et al.*, 1997b, Franklin & Foster, 1997, Gómez & Figueroa, 1998, Altamirano *et al.*, 2000). Consiste en la regulación del PSII, en orden a manejar el exceso de energía incrementando la disipación mediante energía térmica (Osmond 1994, Figueroa & Gómez, 2001). De esta forma el mecanismo es reversible y permite al alga soportar exceso de radiación incidente lo cual ha sido descrito como un mecanismo fotoprotector conocido como “Fotoinhibición Dinámica”. Este fenómeno ocurre no solamente en la fotosíntesis de macroalgas en zonas donde prevalece alta radiación solar sino que también en especies que habitan zonas frías-templadas y polares. En el

caso de *Sarcatholia crispata*, esta reacción podría deberse a un periodo de aclimatación, debido a que estos “germlings” provienen de individuos que fueron colectados en invierno donde las horas de radiación son menores a las utilizadas en el experimento. La posterior estabilización de la tasa de crecimiento podría deberse a que *Sarcatholia* al ser un alga intermareal, podría estar manifestando fotoinhibición dinámica producida por la exposición a PAR.

En algunas macroalgas, el efecto de PAR resulta en una fotoinhibición dinámica, representa una eficiente adaptación fisiológica, como mecanismo fotoprotectivo para tolerar la irradiancia perjudicial (Figueroa & Gómez, 2001), es decir, la fotosíntesis se recupera rápidamente, en plantas que son devueltas a baja luz, mientras que la RUVB retrasa la recuperación, indicando una fotoinhibición crónica o fotodaño (Hanelt *et al.*, 1998). Esta última ocurre cuando la tasa de degradación de la proteína DI excede la tasa de recuperación de esta (Aro *et al.*, 1999).

Hanelt, 1998, demostró que la capacidad de fotoinhibición dinámica y especialmente la tasa de recuperación en macroalgas después de contrarrestar el estrés de radiación está fuertemente relacionado con su distribución en profundidad en la costa, por ejemplo, se encontró en las algas colectadas cerca de la superficie, la mayor parte de la fotoinhibición es dinámica (Brouwer *et al.*, 2000), pero que a medida que incrementa la profundidad las reacciones son más lentas (Figueroa & Gómez, 2001)

Estudios sobre los efectos de la RUV natural sobre el rendimiento fotosintético de las algas rojas de España han mostrado que la ocurrencia de fotoinhibición de la fotosíntesis bajo alta radiación, depende de los cambios diarios en la irradiancia, posición de la costa, atenuación vertical de la luz o la combinación de todos estos factores (Häder *et al.*, 1997b, Figueroa *et al.*, 1997, Flores-Moya *et al.*, 1998, Gómez & Figueroa, 1998, Jiménez *et al.*, 1998). El curso estacional de la duración del día puede ser considerado un factor ambiental muy importante que

gobierna el rendimiento fotosintético estacional de algunas algas, lo que puede también determinar la estacionalidad del crecimiento y otros procesos fisiológicos (Aguilera *et al.*, 1999b, Gómez, 2001). El alcance de los efectos de la RUV depende de la duración de la exposición, tanto como de la composición espectral aparte de su tasa de flujo (Aguilera *et al.*, 1999a). La susceptibilidad a la fotoinhibición depende de la dosis de irradiancia, época del año, transmitancia del agua y presencia de canopias de algas (Figueroa & Gómez, 2001).

Los cambios inducidos por UV a nivel fisiológico podrían dificultar para establecer un gradiente de protones a través de la membrana tilacoidal y despolarización del potencial de membrana (Poppe *et al.*, 2003). Existen adaptaciones fisiológicas para atenuar los daños que pueden producir la exposición a la RUV, tales como, cambios en la distribución de los cloroplastos dentro de la corteza celular para disminuir la absorción de luz. (Aguilera *et al.*, 1999b), ya que, la tasa de flujo de la radiación perjudicial disminuye fuertemente hacia las capas de células más internas (Aguilera *et al.*, 1999b).

5 CONCLUSIONES

- a) Las intensidades de UV aplicadas en este estudio no mostraron tener efectos letales sobre los estadios de desarrollo más tempranos de *S. crispata*. En el caso de los esporofitos produjo una leve disminución de la tasa de crecimiento, en tanto, que los gametofitos presentaron tasas mayores en los talos y discos irradiados con UV.

- b) Los discos y microtalos de tetrasporofitos mostraron una menor TCD al ser irradiados con UVB, con una disminución de esta a medida que aumentaba el tiempo de exposición. Se puede, entonces, decir que las condiciones experimentales hicieron disminuir las tasas de crecimiento de los microtalos de tetrasporofitos conforme transcurrían los días de exposición.
- c) Los discos de gametofitos presentaron una mayor TCD en los especímenes irradiados con la menor intensidad de UVB, esto puede entenderse como una preadaptación de este estadio ya que proviene de una colecta realizada en Enero.
- d) Se encontró que a medida que los "germlings" de gametofitos se desarrollaban, es decir, la aparición de talos y después de 100 días de cultivo (plántulas), ellos crecieron en forma independiente de los tratamientos utilizados.
- e) Finalmente, los efectos observados en el presente estudio permiten aceptar la hipótesis planteada al inicio, es decir, *las tasas de crecimiento de las fases a nivel de disco fueron más susceptibles a la radiación UVB que microtalos y plántulas*. En general, los discos de esporofitas fueron más sensibles a la radiación. Por lo tanto se podría sugerir que, para el caso de los gametofitos, la incorporación de una dosis baja de UV permitiría incrementar el tamaño a una mayor tasa que la que se obtendría con la irradiación de cultivos "in-door", solo -con luz PAR. En el caso de las fases tempranas de esporofitas, estos serían algo más sensibles a la radiación UVB, por lo tanto para efectos de su cultivo inicial se debería manipular su desarrollo en ausencia de dosis significativas de UVB.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, J., Jiménez, C., Figueroa, F., Lebert, M. & D. Häder.** 1999 a. Effect of ultraviolet radiation on thallus absorption and photosynthetic pigments in red alga *Porphyra umbilicalis*. J. Photochem. Photobiol. B: Biol 48: 75-82.
- Aguilera, J., Karsten, U., Lippert, H., Boguele, B., Philipp, E., Hanelt, D & C. Wiencke.** 1999 b. Effect of solar radiation on growth, photosynthesis and respiration of marine macroalgae from the Arctic. Mar. Ecol: Prog. Ser. 191: 109-119.
- Altamirano, M., Flores-Moya, A. & F. Figueroa.** 2000. Long-term effects of natural sunlight under various ultraviolet Radiation conditions on photosynthesis of intertidal *Ulva rigida* (Chlorophyceae) cultivated in situ. Bot. Mar. 43: 119-126.
- Alveal, K., Romo, H. & C. Werlinger.** 1995. Cultivo de *Gracilaria* a partir de esporas. En: Alveal, K., Ferrairo, M., E. Oliveira & E. Sar. (Eds). *Manual de métodos ficológicos*. Universidad de Concepción, Chile.
- Aro, E. M., Virgin, I. & B. Andersson.** 1993. Photoinhibition of photosystem II. Inactivation, protein damage and turnover. Biochim. Biophys. Acta 1143:113-134.
- Ávila, M., Otaíza, R., Norambuena, R. & M. Nuñez,** 1996. Biological basis for the management of “luga negra” (*Sarcothalia crispata* Gigartinales, Rhodophyta) in southern Chile. Hydrobiologia. 326/327: 235-244.
- Ávila, M., Ask, E., Rudolph, B., Nuñez, M. & R. Norambuena.** 1999. Economics feasibility of *Sarcothalia* (Gigartinales, Rhodophyta) cultivation. Hidrobiología 398/399 :435-442.
- Bischof, K., Hanelt, D., Tüg, H., Karsten, U., Brouwer, P. E. M. & C. Wiencke.** 1998. Acclimation of brown algal photosynthesis to ultraviolet radiation in Arctic coastal waters (Spitsbergen, Norway). *Polar Biology*, 20: 388-395.
- Bischof, K., Hanelt, D. & C. Wiencke.** 2000 b. Effects of ultraviolet radiation on photosynthesis and related enzyme reactions of marine macroalgae. Planta 211: 555-562.
- Booth, C. R. & S. Madronich.** 1994. Radiation amplification factors-improved formulation accounts for large increases in ultraviolet radiation associated with Antarctic ozone

depletion. In *Ultraviolet Radiation in Antarctica: Measurements and Biological Effects*, Weiler, C.S. and Penhale, P.A. (eds.), AGU Antarctic Research Series. 62: 39-42.

- Brouwer, P., Bischof, K., Hanelt, D. & J. Kromkamp.** 2000. Photosynthesis of two Arctic macroalgae under different ambient radiation levels and their sensitivity to enhanced UV radiation. *Polar Biol.* 23: 257-264.
- Candia, A.** 1983. Antecedentes reproductivos del género *Iridea* Bory, (Rhodophyta, Gigartinales) de Bahía Concepción, Chile. *Soc. Latinoam. Acuicult.* 5:20.
- Candia, A. & A. Poblete.** 1981. Estudios sobre el ciclo de vida de *Iridea ciliata* Kützing (Rhodophyta, Gigartinaceae), presente en Bahía Concepción, Chile. I Jornadas de Ciencias del Mar, Montemar, Chile: 19.
- Chávez, P.** 1998. Dinámica poblacional de *Iridaea ciliata* Kutzing (Rhodophyta: gigartinales), en Isla San Ramón, Calbuco, X Región, Chile. Tesis Universidad Austral de Chile.
- Chow, W. S.** 1994. Photoprotection and photoinhibitory damage. *Adv. Mol. Cell. Biol.* 10: 151-196.
- Dawson, S. P. & W. C. Dennison.** 1996. Effects of ultraviolet and photosynthetically active radiation on five seagrasses species. *Mar. Biol.* 125: 629-638.
- Döhler, G. & M. R. Alt.** 1989. Assimilation of ^{15}N -amonia during irradiance with ultraviolet-B and monochromatic light in *Thalassiosira rotula*. *C. R. Acad. Sci. Paris. Serie D* 308: 513-518.
- Dring, M. J., Wagner, A., Boeskow, J. & K. Lüning.** 1996. Sensitivity of intertidal and subtidal red algae to UV-A and UV-b radiation, as monitored by chlorophyll fluorescence measurements: influence of collection depth and season, and length of irradiation. *Eur. J. Phycol.* 31: 293-302.
- Edelstein, T.** 1977. Studies of *Gracilaria* sp.: Experiments on inocula incubated under greenhouse condition. *J. Ex. Mar. Biol. Ecol.* 33: 249-259.
- Farman, J.C., Gardiner, B.G. & D. Shanklin.** 1985. Large losses of total Ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. *Nature* 315:207-210.

- Figueroa, F. & I. Gómez.** 2001. Photosynthetic acclimation to solar UV radiation of marine red algae from warm-temperate coast of southern Spain: a review. *J. Appl. Phycol.* 13: 235-248.
- Figueroa, F.L., Salles, S., Aguilera, J., Jiménez, C., Mercado, J., Viñegla, B., Flores-Moya, A. & M. Altamirano.** 1997. Effects of solar radiation on photoinhibition and pigmentation in the red alga *Porphyra leucosticta*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 151: 81-90.
- Flores-Moya, A., Hanelt, D., Figueroa F. L., Altamirano, M., Viñegla, B. & S. Salles.** 1999. Involvement of solar UV-B radiation in recovery of photoinhibited photosynthesis in the brown alga *Dictyota dichotoma* (Hudson) Lamouroux. *J. Photochem. Photochem. B: Biol.* 49: 129-135.
- Flores-Moya, A., Gómez, I., Viñegla, B., Altamirano, M., Pérez-Rodríguez, E., Maestre, C. R., Caballero, M. & F. L., Figueroa.** 1998. Effects of solar radiation on endemic mediterranean red alga *Rissoella verrucosa*: photosynthetic performance, pigment content and enzymatic activities related to nutrient uptake. *New Phytol.* 139:673-684.
- Franklin, L. A. & R. M. Foster.** 1997. The changing irradiance environment: consequences for marine macrophyte physiology, productivity and ecology. *Eur. J. Phycol.* 32: 207-232.
- Franklin, L. A., Yakovleva, I., Karsten, U. & K. Lüning.** 1999. Synthesis of Mycosporine like amino acids in *Chondrus crispus* (Florideophyceae) and the consequences for sensitivity to ultraviolet B radiation. *J. Phycol.* 35: 682-693.
- Godoy, M.** 1994. Biología de *Iridaea ciliata* Kützing (Rhodophyta: Gigartinales), en la Playa Rosada, X Región, Chile. Tesis Universidad Austral de Chile.
- Gómez, I.** 2001. Ecophysiology of Antarctic macroalgae: effects of environmental light conditions on photosynthetic metabolism. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 74 (2): 251-271.
- Gómez, I & F. L. Figueroa.** 1998 Effects of solar UV stress on chlorophyll fluorescence kinetics of intertidal macroalgae from southern Spain: a case study in *Gelidium* species. *J. Appl. Phycol.* 10: 285-294.

- Gómez, I. & C. Wiencke.** 1996. Photosynthesis dark respiration and pigments contents of gametophytes and sporophytes of the Antarctic brown algae *Desmarestia menziesii*. *Bot. Mar.* 39: 149-157.
- Gómez, I., Figueroa, F., Sousa-Pinto, I., Viñegla, B., Pérez-Rodríguez, E., Maestre, C., Coelho, S., Felga, A. & R. Periera.** 2001. Effects of UV radiation and temperature on photosynthesis as measured by PAM fluorescence in the red alga *Gelidium pulchellum* (Turner) Kützinger. *Botánica Marina* 44: 9-16.
- Gómez, I., Pérez-Rodríguez, E., Viñegla, B., Figueroa, F. L & Ulf Karsten.** 1998. Effects of solar radiation on photosynthesis, UV- absorbing compounds and enzymes activities of the green alga *Dasycladus vermicularis* from southern Spain. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* 47:46-57.
- Grobe, C. W. & T. M. Murphy.** 1994. Inhibition of growth of *Ulva expansa* (Chlorophyta) by ultraviolet-B radiation. *J. Phycol.* 30:783-790.
- Häder, D.-P., Worrest, R. S., Kumar, H. D., & R.C., Smith.** 1995. Effects of increased solar ultraviolet radiation on aquatic ecosystems. *Ambio.* 24:174.
- Häder, D., Porst, M. & M. Lebert.** 2001. Photoinhibition in common Atlantic macroalgae measured on site in Gran Canaria. *Helgol. Mar. Res.* 55: 67-76.
- Hanelt, D.** 1998. Capability of dynamic photoinhibition in Arctic macroalgae is related to their depth distribution. *Mar. Biol.* 131: 361-369.
- Hanel, D., Wiencke, C., Karsten, U. & W. Nultsch.** 1997 a. Photoinhibition and recovery after high light stress in different developmental and life-history stages of laminaria saccharina (Phaeophyta). *J. Phycol.* 33: 387-395.
- Hanelt, D., Wiencke, C. & W. Nultsch.** 1997 b. Influence of UV radiation on the photosynthesis of Arctic macroalgae in the field. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* 38: 40-47.
- Hansen, J. E.** 1980. Physiological considerations in the mariculture of red algae. *In:* I. A. Abbott, M. S. Foster & L. F. Ekund (Eds), *Pacific Seaweed Aquaculture*. Publ. California Sea Grant. Coll. Program, La Jolla: 80-91.

- Helbling W., Villafañe V, Ferrario M. & O. Holm-Hansen.** 1992. Impact of natural ultraviolet radiation on rates of photosynthesis and on specific marine phytoplankton species. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 80: 89-100.
- Hoffman, D.J. & T. Deshler.** 1991. Evidence from balloon measurements for chemical depletion of stratospheric ozone in the Arctic winter of 1989-90. *Nature* 349:300-305.
- Holm-Hansen O., Lubin D. & W. Helbling** 1993. Ultraviolet radiation and its effects on organisms in aquatic environments. En: *Environmental UV photobiology*. Young *et al.* (eds.) pp 379-425. Plenum Press. New York
- Hommersand, M. H., Guiry, M., Frederiq, S. & G. L. Leister.** 1993. New perspectives in the taxonomy of the Gigartinaceae (Gigartinales, Rhodophyta). *Proc. int. Seaweed Symp.* 14:105-120.
- Huovinen P, Oikari, A. O. J., Soimasuo, M. R., Cherr, G.N.** 2000. Impact of UV radiation on the early development of the giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) gametophytes. *Photochem Photobiol* 72:308-313.
- Huovinen, P.,** Gómez, I., Figueroa, F. L., Ulloa, N., Morales, V., C. Lovnegreen. 2004. Ultraviolet-absorbing mycosporine-like amino acids in red macroalgae from Chile. *Bot. Mar.* 47: 21-29.
- Iman, R. L.** 1994. The importance of Undergraduate Statistics. *Amstat News*, Number 215. p. 6.
- Infante, R. & A. Candia,** 1988. Cultivo de *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss e *Irídea ciliata* Kützing (Rhodophyta, Gigartinaceae), en laboratorio: esporulación inducida y colonización de carposporas en diferentes sustratos. *Gayana. Bot.* 45 (1-4): 297-304.
- Jiménez, C., Figueroa, F.L., Salles, S., Aguilera, J., Mercado, J., Viñebla, B., Flores-Moya, A., Lebert, M. & Häder, D.-P.** 1998. Effects of solar radiation on photosynthesis and photoinhibition in red macrophytes from an intertidal system of Southern Spain. *Botanica Marina* 41: 329-338.
- Jones, W. E.** 1959. The growth and fruiting of *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfus. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 38: 47-56.

- Karentz, D., McEuen, F. S., Land, M. C., & W. C. Dunlap.** 1991. Survey of mycosporine-like amino acid compounds in Antarctic Marine Organisms *Mar. Biol. (Berl.)* 108, 157-166.
- Karsten, U., Sawalt, T., Hanelt, D., Bischof, K., Figueroa, F.L., Flores-Moya, A. & Wiencke, C.** 1998. An inventory of contents of UV-absorbing mycosporine-like amino acids in macroalgae from polar to warm-temperate regions. *Bot. Mar.* 41: 443-453.
- Kerr, J. B. & C. McElroy.** 1993. Evidence for large upward trends of ultraviolet B radiation linked to ozone depletion. *Science.* 262: 1032-1034.
- Kirchhoff, V. W. J. H., Zamorano, F. & C. Casiccia.** 1997. UV-B enhancements at Punta Arenas, Chile. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol* 38: 147-177.
- Klish, M. & D. Häder.** 2000. Factors influencing the synthesis of mycosporine-like amino acids in dinoflagellates. 4: 253-258.
- Lesser, M. P., J. J. Cullen & P. J. Neale.** 1994. Carbon uptake in the marine diatom during acute exposure to ultraviolet B radiation: relative importance of damage and repair. *J. Phycol.* 30: 92-183.
- Lüning, K.** 1990. *Seaweeds their environment, biogeography and ecophysiology.* Wiley, New York 527pp.
- Madronich S** 1992. Implications of recent total atmospheric ozone measurements for biologically active ultraviolet radiation reaching the earth's surface. *Geophysical Research Letter* 19:37-40.
- Makarov, M.** 1999. Influence of ultraviolet radiation on the growth of the dominant macroalgae of the Barents Sea. *Chemosphere: Global Change Science.* 1:461-467.
- Mansilla, A., Werlinger, C. & N. Navarro.** 2002. Efectos del fotoperiodo e intensidad luminosa sobre el desarrollo de tetrasporas y carposporas de *Mazzaella laminarioides* (Bory) Fredericq (Gigartinales- Rhodophyta). XXI Congreso de ciencias del mar. Viña del Mar, Chile. 1336pp.
- Möller, P. & R. Westermeier.** 1988. Cultivo de *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta-Gigartinaceae) en condiciones de laboratorio. *Gayana, Bot.* 45 (1-4): 305-308.

- Müller, R., Crutzen, P. J., Groob, J. U., Brühl, C., Russell III, J. M. Germandt, H. McKenna, D. S. & A.F. Tuck.** 1997. Severe chemical Ozone loss in the Arctic during the winter of 1995-96. *Nature* 389:709-712.
- Navarro, N.** 2000. Implantación de esporas de macroalgas sobre sustratos sintéticos, primeros estadios de desarrollo. Tesis Universidad de Concepción 54 pp.
- Osmond, C. B.** 1994. What is photoinhibition? Some insights from comparison of shade and sun plants. In *Photoinhibition of Photosynthesis*. NR Baker, JR Bowyer, Eds. (BIOS Scientific, Oxford, U.K.) pp. 1-24.
- Pakker, H., Beekman, C. A. C. & A. M. Breeman.** 2000 a. Efficient photoreactivation of UVBR-induced DNA damage in the sublittoral macroalga *Rhodymenia pseudopalmata* (Rhodophyta). *Eur J Phycol* 35:109-114.
- Pakker, H., Martins, R. S. T., Buma, P., Nikiado, A. G. T. & Breeman A. M.** 2000 b. Effect of temperature on the photoreactivation of ultraviolet-B-induced DNA damage in *Palmaria palmata* (Rhodophyta). *J Phycol.* 36: 334-341.
- Poblete, A., Candia, A., Inostroza, I. & R. Ugarte.** 1985. Crecimiento y fenología reproductiva de *Irídea ciliata* Kützing (Rhodophyta, Gigartinales) en una pradera submareal. *Biol. Pesquera.* 14: 23-31.
- Poppe, F., Schmidt, R., Hanelt, D. & C. Wiencke .** 2003. Effects of UV radiation on the ultrastructure of several red algae. *Phycol. Res.* 51: 11-19.
- Ramírez, M. & B. Santelices.** 1991. Catalogo de algas marinas bentónicas de las costas templadas del Pacífico de Sudamérica. *Monografías Biológicas* 5, Pontificia Universidad Católica de Chile, 437pp.
- Romo, H., Alveal, K. & C. Werlinger.** 2001. Growth of the commercial carrageenophyte *Sarcothalia crispata* (Rhodophyta, Gigartinales) on suspended culture in central Chile. *J. Appl. Phycol.* 5:133-139.
- Rowland F.S.** 1990. Stratospheric ozone depletion by chlorofluocarbons. *Ambio* 19: 281-292.
- Seckmeyer, G. & R. McKenzie.** 1992. Increased ultraviolet radiation in New Zealand (45°S) relative to Germany (48°N). *Nature.* 359: 135-137.

- Sernapesca.** 2002. Anuario Estadístico de Pesca. Servicio Nacional de Pesca. Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción, Chile 291pp.
- Sinha, R. P. & D.-P. Häder.** 1997. Impacts of UV-B irradiation on rice-field Cyanobacteria, in *the effects of Ozone Depletion on Aquatic Ecosystems*. Environmental Intelligence Unit, Academic Press and R. G. Landes Company, Austin. 9: 189-198
- Sinha, R., Klisch, M., Gröniger, A. & D. Häder.** 1998. Ultraviolet-absorbing/screening substances in cyanobacteria, phytoplankton and macroalgae. *J. Photochem. Photobiol.* 47: 83-94.
- Sinha, R., Klisch, M., Gröniger, A. & D. Häder.** 2000. Mycosporine-like amino acids in the marine red alga *Gracilaria cornea*- effects of UV and heat. *Environmental and Experimental Botany* 43: 33-43.
- Sinha, R., Kumar, H. D., Kumar, A. & D.-P. Häder.** 1995. Effects of UV-B irradiation on growth, survival, pigmentation and Nitrogen metabolism enzymes in Cyanobacteria. *Acta Protozool.* 34: 187.
- Sinha, R. P., Klisch, M., Gröniger, A. & D. P. Häder.** 1998. Ultraviolet-absorbing/screening substances in cyanobacteria, phytoplankton and macroalgae. *J. Photochem. Photobiol.* 47: 83-94.
- Skerrati, J. H., Davidson, A. D., Nichols, P. D. & T. A. McMeekins.** 1998. Effect of UV-B on lipid content of three antarctic marine phytoplankton. *Phytochem.* 49: 999-1007.
- Smith R. C., Prezelin, B. B., Baker, K. S., Bidigare, R. R., Boucher, N. P. Coley, T. Karentz, D., McIntyre, S., Matlick, H. A., Menzies, D. Ondrusek, M., Wan, Z. & J.K. Waters.** 1992. Ozone depletion: ultraviolet radiation and phytoplankton biology in Antarctic waters. *Science* 255: 952-959.
- Sokal, R. R. & F. J. Rohlf.** 1979. *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica.* Ed. Blume, Madrid. 832 p.
- Swanson, A. K. & L. D. Druehl.** 2000. Differential meiospore size and tolerance of ultraviolet light stress within and among kelp species along a depth gradient. *Mar. Biol.* 136: 657-664.

- van de Poll, W., Eggert, A., Buma, A. & A. Breeman.** 2001. Effects of UV-B induced DNA damage and photoinhibition on growth temperate marine red macrophytes: habitat-related differences in UV-B. *J. Phycol.* 37: 30-37.
- Wiencke C, Gómez, I., Pakker, H., Flores-Moya, A., Altamirano, M., Hanelt, D., Bischof, K. & Figueroa, F. L.** 2000 Impact of UV-radiation on viability, photosynthetic characteristics and DNA of brown algal zoospores: implications for depth zonation. *Mar Ecol. Prog. Ser.* 197: 217-229.

TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental. Distribución de embriones provenientes de carposporas y tetrasporas adheridos a portaojetos (esporas) y de plántulas tetrasporofíticas y gametofíticas de *S. crispata* en los distintos tratamientos.

	PAR 40uW m ⁻²		UVB 1 3umol m ⁻² s ⁻¹		UVB 2 6umol m ⁻² s ⁻¹	
	Esporas 23.5 cm-2	Plántulas 10 replica-1	Esporas 23.5 cm-3	Plántulas 10 replica-1	Esporas 23.5 cm-4	Plántulas 10 replica-1
Gametofitos	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	R2	R2	R2	R2	R2	R2
	R3	R3	R3	R3	R3	R3
Tetrasporofitos	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	R2	R2	R2	R2	R2	R2
	R3	R3	R3	R3	R3	R3

Tabla 2. Análisis de varianza de 2 vías del diámetro de discos provenientes de carposporas (tetrasporofitos) de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) 40μmol m⁻², PAR + 0,03 Wm⁻² de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + 0,06 Wm⁻² de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio y por otro lado la significancia (letras diferente indican diferencias significativas). Valores promedio en μm.

ANOVA							
VARIABLE	F. cal				g,l		PROBABILIDAD
DIAS	115,41				3 ; 510		0,00001
TRATAMIENTOS	9,27				2 ; 510		0,00011
DIAS*TRATAMIENTOS	1,98				6 ; 510		0,06599
TEST DE TUKEY DIAS					TRATAMIENTOS		
	0	5	8	11	PAR	UVB 1	UVB 2
Promedio	202	250	286	309	249	265	273
	A	B	C	C	A	B	B

Tabla 3. Análisis de varianza de 2 vías del diámetro de discos provenientes de tetrasporas (gametofitos) de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en μm y por otro lado la significancia (letras diferentes indican diferencias significativas)

ANOVA									
VARIABLE	F. cal					g,l		PROBABILIDAD	
DIAS	31,39					5 ; 663		0,00001	
TRATAMIENTOS	7,21					2 ; 663		0,00079	
DIAS*TRATAMIENTOS	2,44					10 ; 663		0,00718	
TEST DE TUKEY									
DIAS									
	0	14	22	28	31	38	TRATAMIENTOS		
Promedio	181	217	220	220	230	258	PAR	UVB 1	UVB 2
	A	B	C	C	C	C	A	B	A

Tabla 4. Análisis de varianza de 2 vías de la longitud de mitroaloes provenientes de carposporas (tetrasporofitos) de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en μm (letras diferentes indican diferencias significativas).

ANOVA												
VARIABLE	F. cal									g,l		PROBABILIDAD
DIAS	489,21									8 ; 1266		0,00001
TRATAMIENTOS	31,79									2 ; 1266		0,00001
DIAS*TRATAMIENTOS	4,35									16 ; 1263		0,00001
TEST DE TUKEY												
DIAS												
	5	8	11	18	22	25	29	31	36	TRATAMIENTOS		
Promedio	87	79	133	406	580	826	1119	1364	1695	PAR	UVB 1	UVB 2
	A	A	A	B	C	D	E	F	G	A	B	B

Tabla 5. Análisis de varianza de 2 vías de la longitud de microtalos provenientes de tetrasporas (gametofitos) de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en μm (letras diferentes indican diferencias significativas).

ANOVA												
VARIABLE	F. cal			g,l			PROBABILIDAD					
DIAS	101,72			7 ; 1416			0,00001					
TRATAMIENTOS	2,37			2 ; 1416			0,09362					
DIAS*TRATAMIENTOS	1,32			14 ; 141663			0,18343					
TEST DE TUKEY										TRATAMIENTOS		
DIAS										PAR	UVB 1	UVB 2
	14	22	28	31	38	42	46	50				
Promedio	272	317	387	516	641	808	900	932	575	591	624	
	A	A	A	B	C	D	D	D	A	A	A	

Tabla 6. Análisis de varianza de 2 vías del incremento del área foliar de plántulas tetrasporofíticas (tetrasporofitos) de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mm^2 (letras diferentes indican diferencias significativas).

ANOVA													
VARIABLE	F. cal			g,l			PROBABILIDAD						
DIAS	32,563			9 ; 897			0,00001						
TRATAMIENTOS	8,793			2 ; 897			0,00017						
DIAS*TRATAMIENTOS	0,308			18 ; 897			0,99762						
TEST DE TUKEY										TRATAMIENTOS			
DIAS										PAR	UVB 1	UVB 2	
	0	4	10	14	18	21	24	31	35	39			
Promedio	7,398	8,832	11,841	12,707	13,807	14,673	16,124	19,498	19,775	25,195	16,701	14,497	13,758
	A	A									A	B	B
		B	B	B									
			C	C	C	C							
				D	D	D	D						
							E	E	E				
										F			

Tabla 7. Análisis de varianza de 2 vías del incremento del largo foliar de plántulas tetrasporofíticas de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mm (letras diferentes indican diferencias significativas).

ANOVA													
VARIABLE	F. cal		g,l		PROBABILIDAD								
DIAS	21,91		9 ; 897		0,00001								
TRATAMIENTOS	1,05		2 ; 897		0,34700								
DIAS*TRATAMIENTOS	1,07		18 ; 897		0,37238								
TEST DE TUKEY										TRATAMIENTOS			
DIAS													
	0	4	10	14	18	21	24	31	35	39	PAR	UVB 1	UVB 2
Promedio	5,97	6,82	8,25	8,44	9,35	9,35	9,84	10,55	11,60	11,86	9,374	8,946	9.302
	A	A									A	A	A
		B	B	B									
			C	C	C	C	C						
				D	D	D	D	D					
							E	E	E				
								F	F	F			

Tabla 8. Análisis de varianza de 2 vías del incremento del ancho foliar de plántulas tetrasporofíticas de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mm (letras diferentes indican diferencias significativas).

ANOVA													
VARIABLE	F. cal		g,l		PROBABILIDAD								
DIAS	21,65		9 ; 897		0,00001								
TRATAMIENTOS	5,93		2 ; 897		0,00275								
DIAS*TRATAMIENTOS	0,55		18 ; 897		0,93355								
TEST DE TUKEY										TRATAMIENTOS			
DIAS													
	0	4	10	14	18	21	24	31	35	39	PAR	UVB 1	UVB 2
Promedio	1,932	2,203	2,717	2,872	3,293	3,239	3,470	4,110	4,209	4,747	3,575	3,118	3,145
	A	A	A								A	B	B
		B	B	B									
			C	C	C	C	C						
						D	D	D					
							E	E	E				
								F	F	F			

Tabla 9. Análisis de varianza de 2 vías del incremento de la biomasa húmeda de plántulas tetrasporofíticas de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en μm^2 (letras diferentes indican diferencias significativas).

ANOVA													
VARIABLE	F. cal		g,l		PROBABILIDAD								
DIAS	210,42		9 ; 89		0,00001								
TRATAMIENTOS	12,73		2 ; 89		0,00003								
DIAS*TRATAMIENTOS	0,26		18 ; 89		0,99861								
TEST DE TUKEY											TRATAMIENTOS		
DIAS											PAR	UVB 1	UVB 2
	0	3	10	14	18	21	24	31	35	39			
Promedio	0,031	0,037	0,047	0,055	0,063	0,071	0,078	0,098	0,108	0,121	0,076	0,068	0,069
	A	A	B	C	D	E	F	F	G	G	A	B	B
		B	C	D	E	F	F	G	G	H			

Tabla 10. Análisis de varianza de 2 vías del incremento del área foliar de plántulas gametofíticas de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mm^2 (letras diferentes indican diferencias significativas).

ANOVA													
VARIABLE	F. cal		g,l		PROBABILIDAD								
DIAS	75,79		7 ; 1049		0,001								
TRATAMIENTOS	0,29		2 ; 1049		0,748								
DIAS*TRATAMIENTOS	0,62		14 ; 1049		0,848								
TEST DE TUKEY											TRATAMIENTOS		
DIAS											PAR	UVB 1	UVB 2
	0	4	8	12	17	23	28	35					
Promedio	1,31	1,61	1,96	2,51	2,96	3,69	4,23	4,96	2,98	2,89	2,84		
	A	A	A	B	B	C	C	C	A	A	A		

Tabla 11. Análisis de varianza de 2 vías del incremento del largo foliar de plántulas gametofíticas de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mm (letras diferentes indican diferencias significativas).

ANOVA												
VARIABLE	F. cal		g,l		PROBABILIDAD							
DIAS	79,55		7 ; 1072		0,00001							
TRATAMIENTOS	1,88		2 ; 1072		0,15232							
DIAS*TRATAMIENTOS	0,12		14 ; 1072		0,99995							
TEST DE TUKEY									TRATAMIENTOS			
DIAS												
	0	4	8	12	17	23	28	35	PAR	UVB 1	UVB 2	
Promedio	2,309	2,515	2,814	3,137	3,511	3,907	4,360	4,585	3,472	3,314	3,392	
	A	A							A	A	A	
		B	B									
			C	C								
				D	D							
					E	E						
							F	F				

Tabla 12. Análisis de varianza de 2 vías del incremento del ancho foliar de plántulas gametofíticas de *Sarcothalia* sometidos a tres tratamientos: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) $40\mu\text{mol m}^{-2}$, PAR + $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 1) y, PAR + $0,06 \text{ Wm}^{-2}$ de Radiación Ultravioleta B (UVB 2) y análisis *a posteriori* (prueba de Tukey) indicando los valores promedio en mm (letras diferentes indican diferencias significativas).

ANOVA												
VARIABLE	F. cal		g,l		PROBABILIDAD							
DIAS	115,03		7 ; 1079		0,00001							
TRATAMIENTOS	0,62		2 ; 1079		0,53307							
DIAS*TRATAMIENTOS	0,15		14 ; 1079		0,99987							
TEST DE TUKEY									TRATAMIENTOS			
DIAS												
	0	4	8	12	17	23	28	35	PAR	UVB 1	UVB 2	
Promedio	0,891	1,020	1,203	1,410	1,596	1,968	2,288	2,556	1,642	1,619	1,588	
	A	A							A	A	A	
		B	B									
			C	C								
				D	D							

FIGURAS

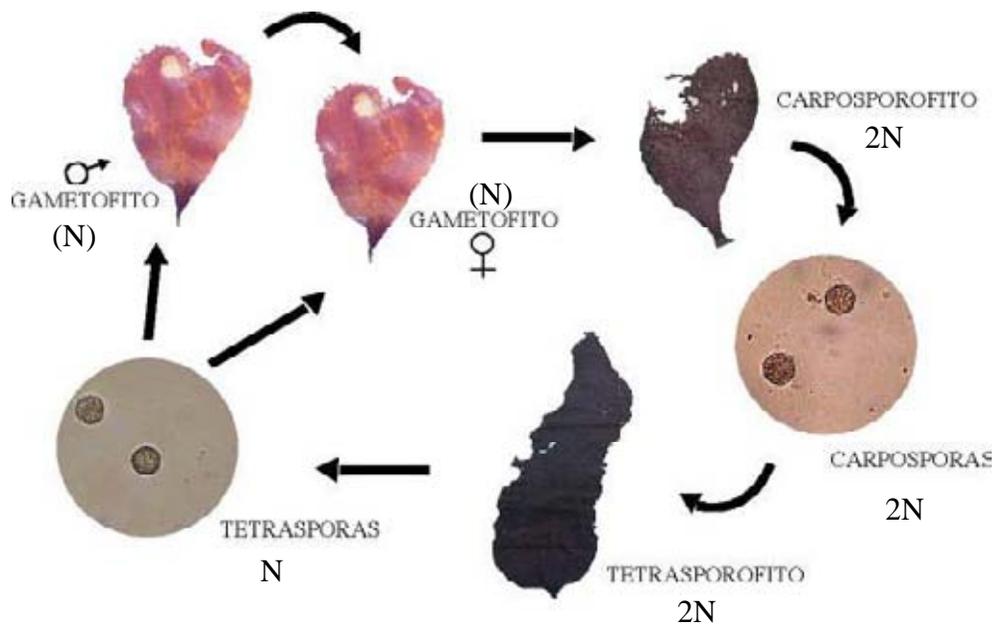


Figura 1: Ciclo trífase isomórfico de *Sarcothalia crispata* (Rhodophyta, Gigartinales)

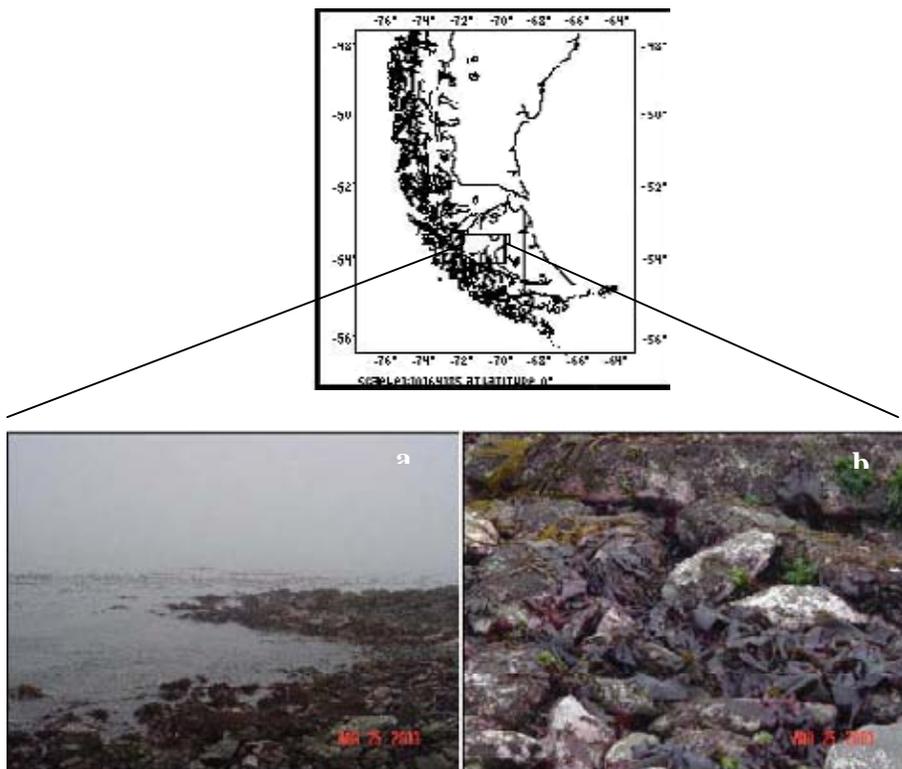


Figura 2. Mapa del lugar de colecta, Pta. Santa Ana (53° 37' 59" S; 73° 54' 47,6" W), XII Región, Chile. Playa de bolones ubicada en la costa del Estrecho de Magallanes (a). *Sarcothalia crispata* adherida a bolones en el intermareal de una típica magallánica (b).



Figura 3. Talos reproductivos de *S. crispata* cortados y dispuestos para esporulación: Etapa de deshidratación (ancho de la hoja absorbente 20,3 cm).



Figura 4. Solución de esporas de *Sarcothalia crispata* de color rojizo



Figura 5. Cámara de cultivo con juego de lámparas



Figura 6. Organización del experimento realizado con plántulas de *S. crispata* separado en tres tratamientos con tres replica cada uno (diámetro placa 9,5 cm).

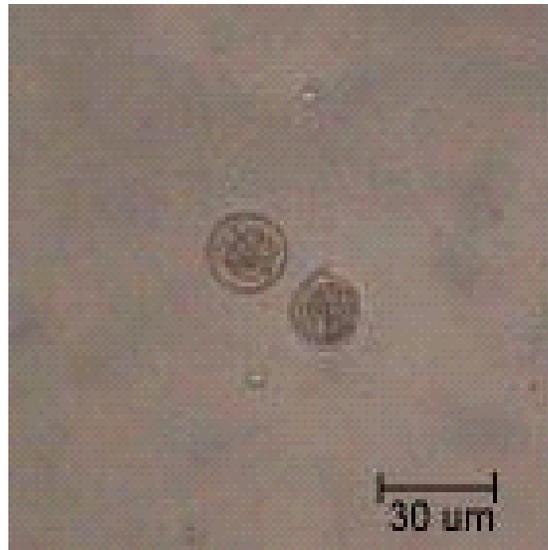


Figura 7. Carposporas de *S. crispata* inoculada el 5 de Julio de 2003, mostrando la primera división de la célula al segundo día de cultivo.

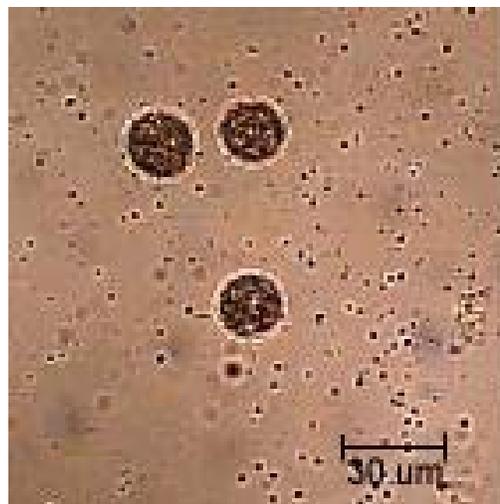


Figura 8. Tetrasporas de *S. crispata* inoculadas el 28 de Marzo de 2003, mostrando células sin división al cuarto día de cultivo.

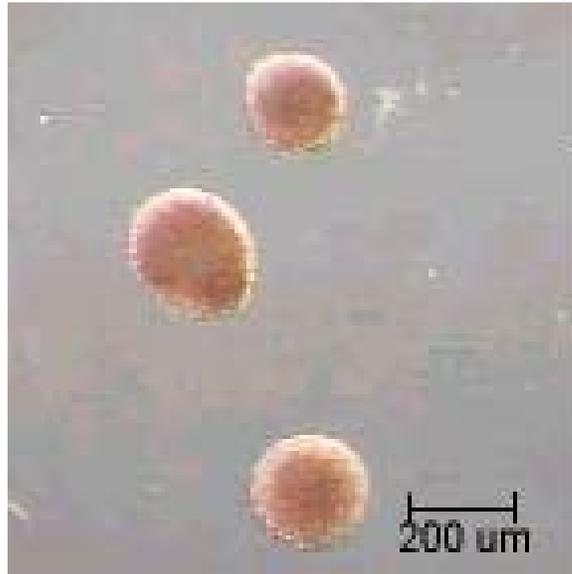


Figura 9. Discos provenientes de carposporas de *S. crispata*, cultivadas por un mes (día cero del experimento). Aumento 6,3x (Lupa Nikon SMZ800).

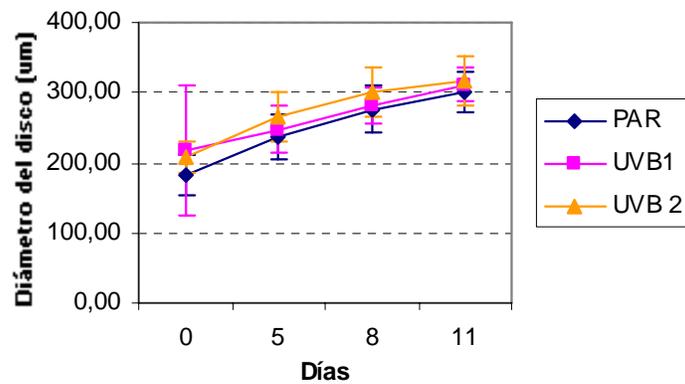


Figura 10. Diámetros promedio de discos de tetrasporofitos de *S. crispata*, medidos en μm , sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

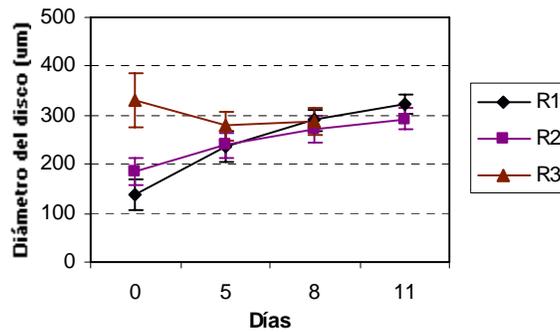


Figura 11. Diámetros promedio de discos de tetrasporofitos de *S. crispata*, medidos en μm , sometidos al tratamiento UVB 1 ($0,03 \text{ W m}^{-2}$), para cada repetición, en condiciones de laboratorio.

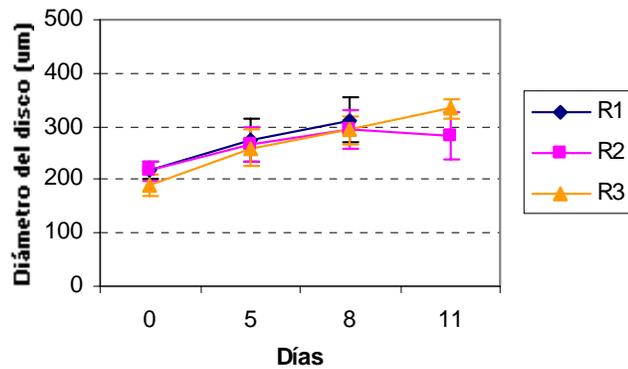


Figura 12 Diámetros promedio de discos de tetrasporofitos de *S. crispata*, medidos en μm , sometidos al tratamiento UVB 2 ($0,06 \text{ W m}^{-2}$), para cada repetición, en condiciones de laboratorio.

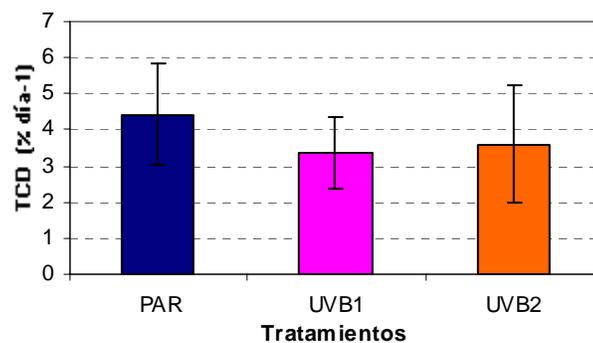


Figura 13. Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio de discos de tetrasporofitos de *S. crispata*, para el periodo total de experimentación (11 días), sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

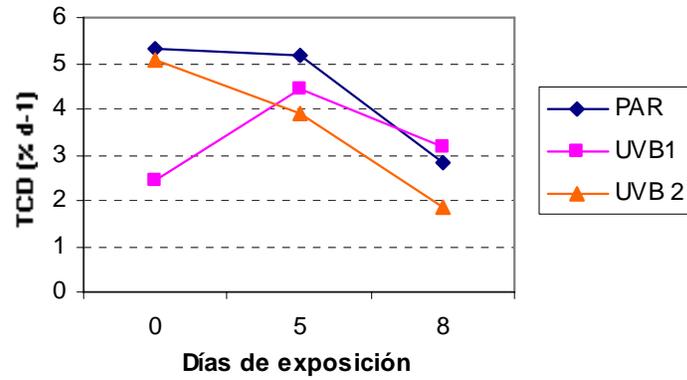


Figura 14. Variación de la Tasa de Crecimiento Diario (TCD) de discos de tetrasporitos de *S. crispata*, entre cada muestreo, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

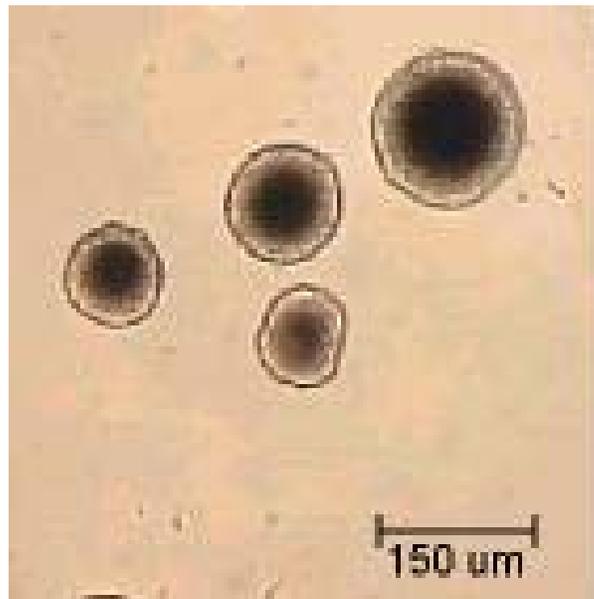


Figura 15. Discos provenientes de tetrasporas de *S. crispata*, cultivadas por un mes (día cero del experimento). Aumento 10x (Microscopio Nikon eclipse E600).

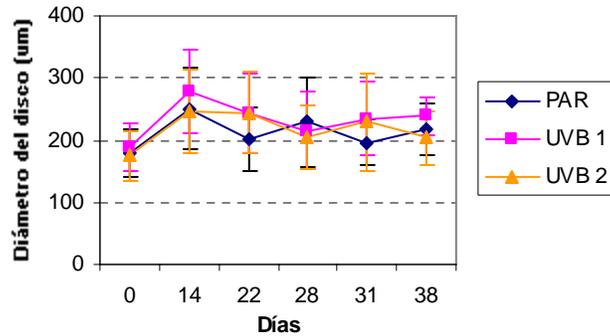


Figura 16. Diámetros promedio de discos de gametofitos de *S. crispata*, medidos en μm , sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

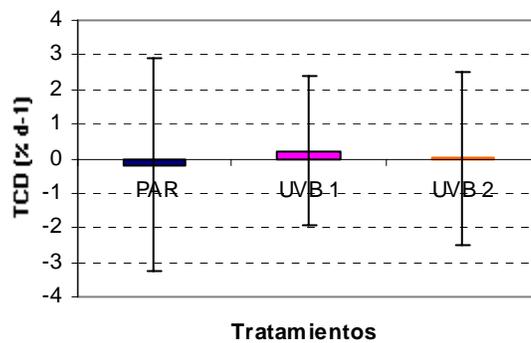


Figura 17. Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio de discos de gametofitos de *S. crispata*, para el periodo total de experimentación (38 días), sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

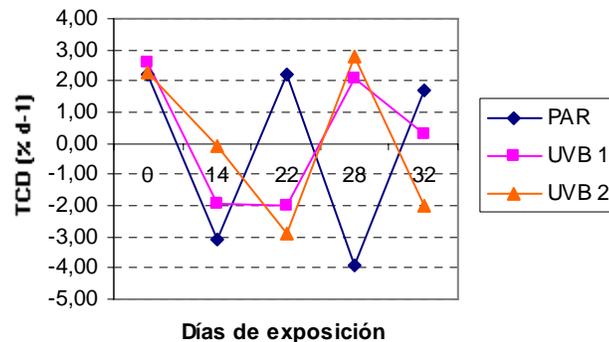


Figura 18. Tasa de Crecimiento Diario (TCD) de discos de gametofitos de *S. crispata*, entre cada muestreo, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

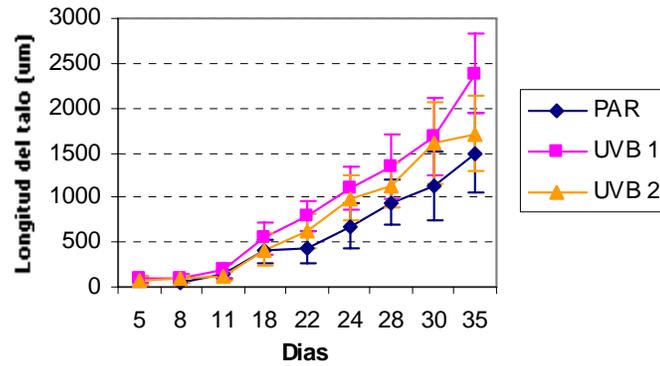


Figura 19. Longitud promedio de microtalos de tetrasporofitos de *S. crispata*, medidos en μm , sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.



Figura 20. Microtalos de *S. crispata* provenientes de carposporas, registrado después de 22 de exposición. Aumento 3x (Microscopio Nikon eclipse E600)

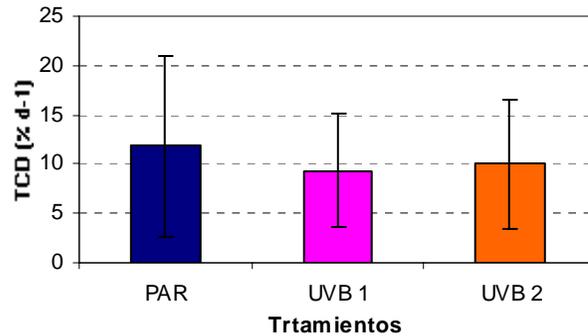


Figura 21. Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio de microtalos de tetrasporofitos de *S. crispata*, para el periodo total de experimentación (36 días), sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

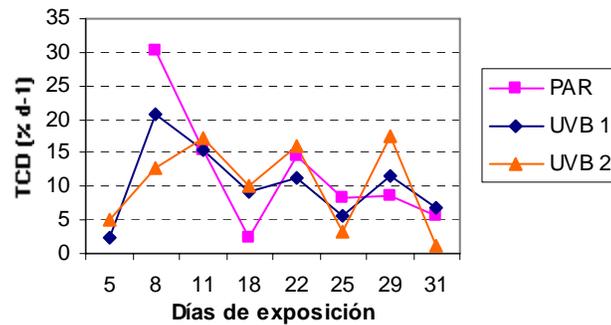


Figura 22. Tasa de Crecimiento Diario (TCD) de microtalos de tetrasporofitos de *S. crispata*, entre cada muestreo, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

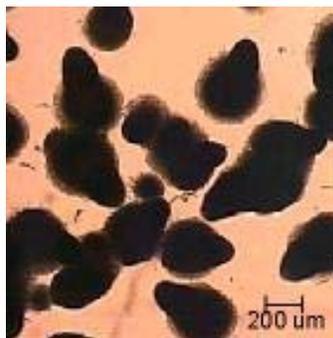


Figura 23. Microtalos de *S. crispata* provenientes de tetrasporas, registrado después de 22 de exposición. Aumento 4x (Microscopio Nikon eclipse E600).

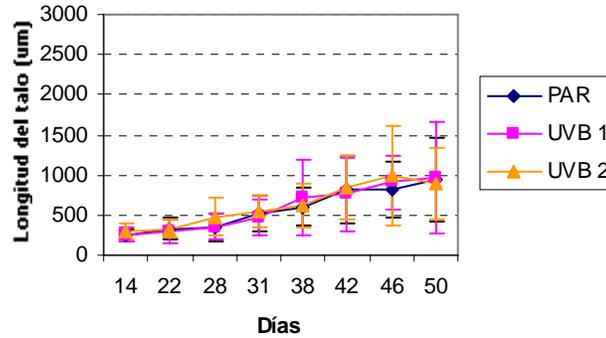


Figura 24. Longitud promedio de microtalos de gametofitos de *S. crispata*, medidos en μm , sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

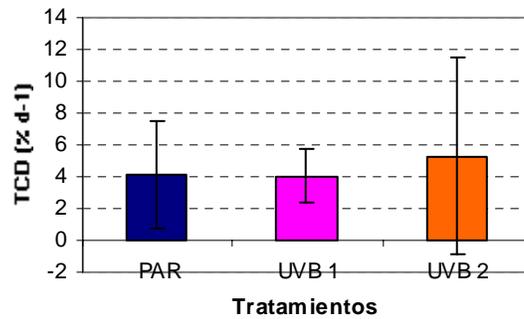


Figura 25. Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio de microtalos de gametófitos de *S. crispata*, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

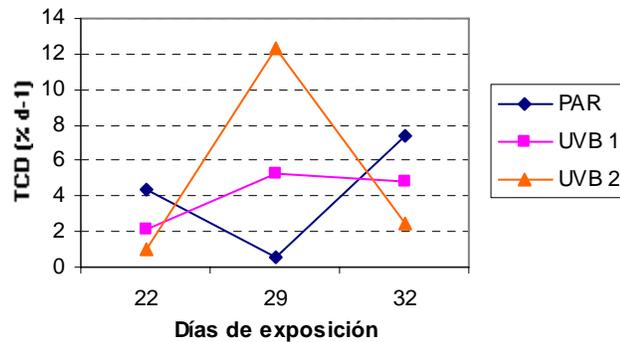


Figura 26. Tasa de Crecimiento Diario (TCD) de microtalos de gametófitos de *S. crispata*, entre cada muestreo, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.



Figura 27. Plántulas de *S. crispata* provenientes de carposporas, registrado al inicio del experimento (Día 0). Aumento 3x (Microscopio Nikon eclipse E600).



Figura 28. Plántulas de *S. crispata* provenientes de tetrasporas, registrado al inicio del experimento (Día 0). Aumento 4x (Microscopio Nikon eclipse E600).

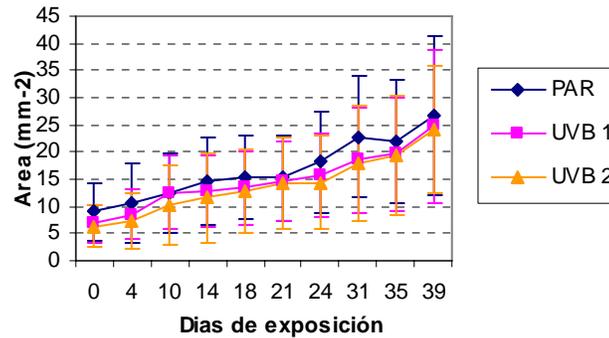


Figura 29. Área foliar de plántulas tetrasporofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

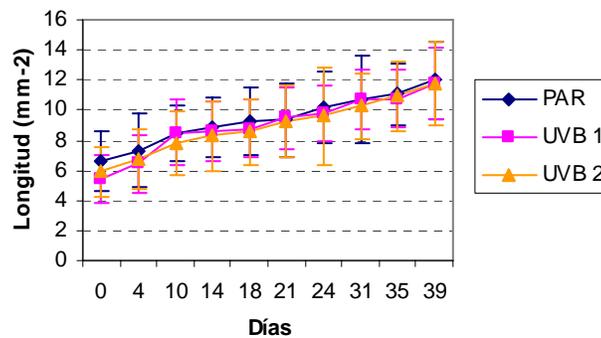


Figura 30. Longitud de plántulas tetrasporofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

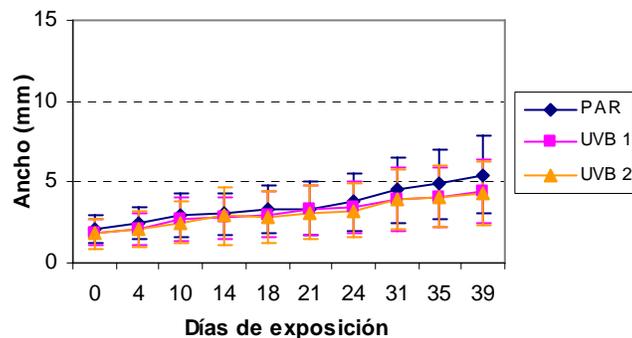


Figura 31. Ancho de plántulas tetrasporofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

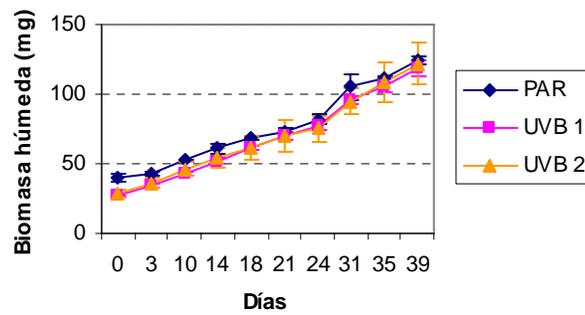


Figura 32. Biomasa húmeda de plántulas tetrasporófitas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

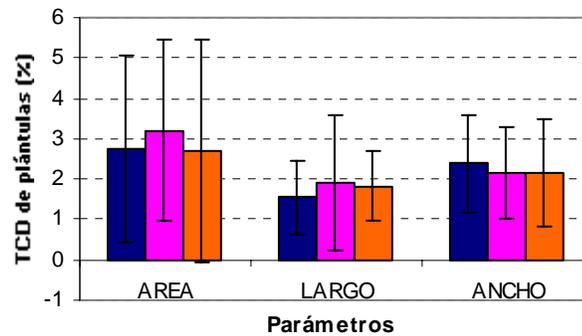


Figura 33. Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio de plántulas tetrasporófitas de *S. crispata*, para todo el periodo de experimentación, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

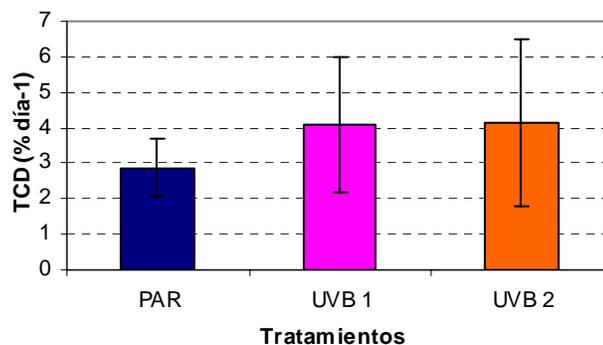


Figura 34. Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio para la biomasa húmeda de plántulas tetrasporófitas de *S. crispata* para todo el periodo de experimentación, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

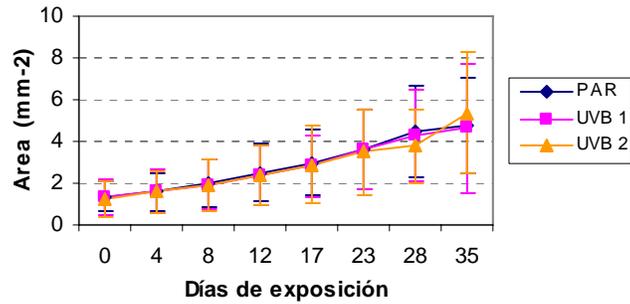


Figura 35. Área foliar de plántulas gametofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

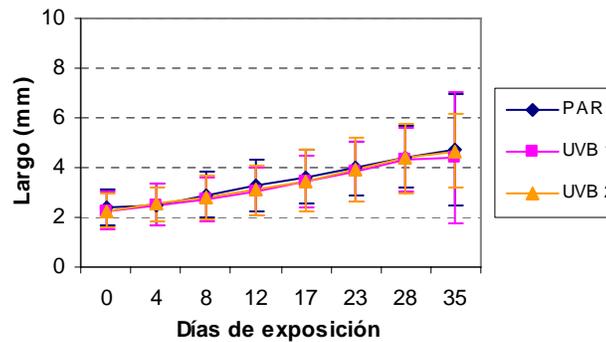


Figura 36. Longitud de plántulas gametofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

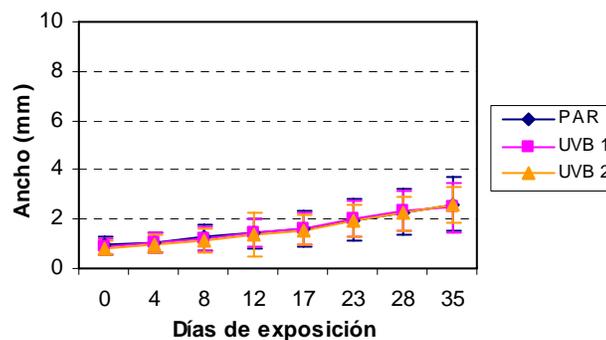


Figura 37. Ancho de plántulas gametofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

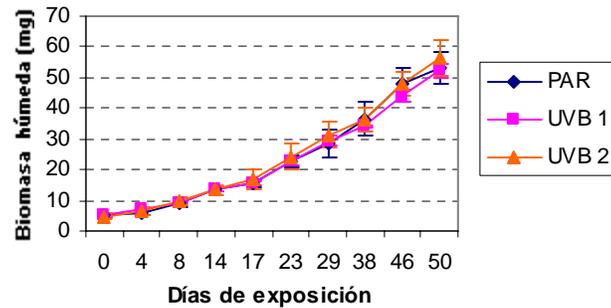


Figura 38. Biomasa húmeda de plántulas gametofíticas de *S. crispata* sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

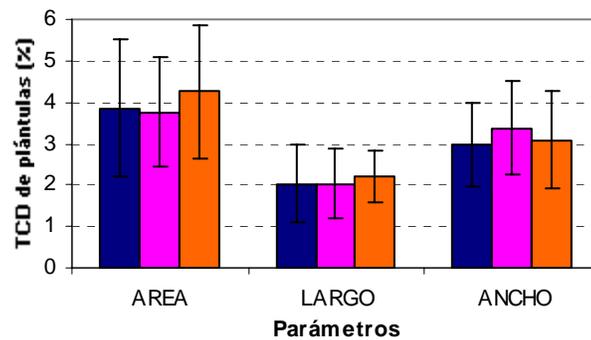


Figura 39. Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio de plántulas gametofíticas de *S. crispata*, para todo el periodo de experimentación, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.

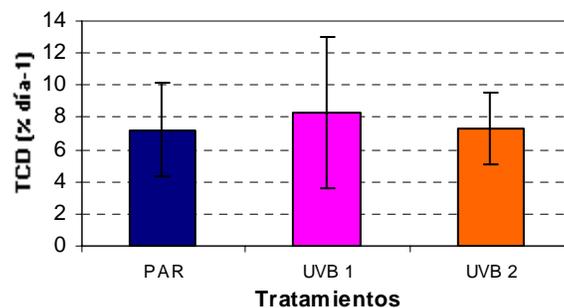


Figura 40. Tasa de Crecimiento Diario (TCD) promedio para la biomasa húmeda de plántulas gametofíticas de *S. crispata* para todo el periodo de experimentación, sometidos a tres tratamientos de radiación ultravioleta, PAR (sin UVB), UVB 1 (baja intensidad de UVB) y UVB 2 (alta intensidad de UVB) en condiciones de laboratorio.