

Evaluación de la Productividad de *Lessonia trabeculata* en Chile

Catalina S. Ruz Muñoz

20/10, 2020

Introducción

La fotosíntesis es el proceso evolutivo que ha permitido uno de los principales cambios para hacer la tierra habitable a través de la captura del carbono inorgánico presente en la atmósfera y posterior liberación de oxígeno (MARTIN 2007). Las macroalgas, aunque subestimadas por su rol como sumideros de carbono, aportan hasta un 10% de la productividad primaria neta mundial (Krause-Jensen and Duarte 2016). De este porcentaje, un 40% de la producción total representa un excedente de crecimiento, el cual es utilizado por herbívoros, filtradores y suspensívoros, siendo la base de las cadenas tróficas y sustentando una diversidad de especies y pesquerías en las zonas costeras (Duarte et al. 2013; Duarte 2017). Otro destino de la productividad son los reservorios marinos donde se ha descrito que hasta 14 Tg C año⁻¹ de C orgánico proveniente de las macroalgas es almacenado en los sedimentos y 153 Tg C año⁻¹ son trasladadas hacia zonas profundas del océano, similar al aporte de generado por pastos marinos, marismas y manglares (Dierssen et al. 2009; Krause-Jensen and Duarte 2016). Así, la importancia de las macroalgas, junto con estos otros ecosistemas costeros, han cobrado mayor relevancia en las estrategias de carbono azul, que buscan la conservación y restauración de estos hábitats, por su rol en la disminución de gases de efecto invernadero y la mitigación de los efectos del cambio climático (Duarte et al. 2013; Macreadie et al. 2019).

Las macroalgas pardas dominan un 26% de las costas del mundo y debido a su gran biomasa forman parte de los ecosistemas más productivos en zonas costeras frías y templadas, con importantes funciones ecológicas y servicios ecosistémicos (Wernberg et al. 2019; Macreadie et al. 2019; Filbee-Dexter and Wernberg 2020). Este grupo de algas, pertenecientes al orden Laminariales, presentan una gran diversidad morfológica y estrategias de vida (perennes/anuales), lo que va a determinar en parte, las diferencias en las tasas de producción a lo largo de las regiones donde se distribuyen y entre especies (Steneck et al. 2002). Su productividad puede alcanzar valores similares a los producidos por bosques lluviosos tropicales, que alcanzan en promedio 2200 g de peso seco m⁻² año⁻¹ (Krumhansl et al. 2016; Wernberg et al. 2019). Sin embargo, las estimaciones de productividad primaria (NPP), que representa una medición de la producción de materia orgánica (o gramos de carbono) por unidad de área y tiempo (Falkowski and Knoll 2007), puede revelar diferentes procesos subyacentes que implican producción de biomasa (i.e. crecimiento, reclutamiento, fotosíntesis, acumulación y pérdida de biomasa, etc, (Reed, Rassweiler, and Arkema 2008) dependiendo de la metodología utilizada para estimar la NPP.

Entre los principales factores ambientales que modulan la productividad se encuentran la luz, la temperatura y los nutrientes (Edding, Tala, and Vásquez 2006; Smale et al. 2020; Wernberg et al. 2019). La luz tiene control directo sobre la fotosíntesis y el crecimiento, y esta varía durante las estaciones del año controlando los patrones de crecimiento anuales de las macroalgas pardas (Tala and Edding 2005; Wernberg et al. 2019; Reed, Rassweiler, and Arkema 2008). Junto con la luz, la disponibilidad de nutrientes, principalmente el nitrógeno, también afectan el crecimiento, pero algunas especies de macroalgas pardas presentan estrategias de crecimiento, el cual es realizado durante las temporadas de mayor disponibilidad de nutrientes, y utilizando las reservas energéticas producidas en períodos de alta irradiación, cuando la fotosíntesis es máxima (Tala and Edding 2005; Edding, Tala, and Vásquez 2006). Finalmente, la temperatura es uno de los factores más importantes descritos que determinan la productividad primaria, considerándose el calentamiento global como una de las más grandes amenazas que están enfrentando los bosques de macroalgas pardas a nivel global (Bearham, Vanderklift, and Gunson 2013; Smale et al. 2020). Así, la interacción entre estos factores

ambientales, y su variación en el tiempo pueden modular los patrones de producción de las poblaciones de macroalgas pardas (Graham, Vasquez, and Buschmann, n.d.).

En Chile, los fondos submareales rocosos están dominador por *Lessonia trabeculata* (Villouta and Santelices 1986), quien presenta una distribución desde los 18° hasta los 40°S, y alcanza profundidades de hasta 40 m (thiel2007humboldt). Aunque tiene características perennes, la dinámica de sus poblaciones se ha visto estar ampliamente determinada por los factores ambientales y ecológicos de mesoescala (10-100s km) (VEGA, VaSQUEZ, and BUSCHMANN 2005; Perez-Matus et al. 2017). A lo largo de su distribución, las poblaciones de *L. trabeculata* son favorecidas por procesos de surgencia asociados a la corriente de Humboldt, que aumentan la resiliencia de las poblaciones frente a Eventos de Oscilación del sur El Niño (ENSO), ya que estas condiciones proveen una mayor estabilidad térmica y aporte de nutrientes (VEGA, VaSQUEZ, and BUSCHMANN 2005). Sin embargo, las poblaciones de *L. trabeculat* han disminuido principalmente debido a la explotación de estas algas, debido a que la pesquería desde el año 2002 incrementó progresivamente a lo largo de la costa norte de Chile, por lo que algunas regulaciones mediante cuotas y vedas controlan la pesquería (Vasquez et al. 2014). Actualmente la extracción se ha expandido hacia la zona sur del país, sin ningún tipo de restricción, excepto la que rige sobre las áreas de manejo y recursos bentónicos (AMERB), y muy pocos estudios han logrado entender el efecto sobre las comunidades asociadas a estas macroalgas. Bajo el contexto de explotación de *L. trabeculata* y la variación en las condiciones ambientales por causa del cambio climático, se hace relevante realizar estimaciones sobre los procesos ecosistémicos que estas algas proveen, como lo es la productividad primaria (Pettorelli et al. 2018)

Lessonia trabeculata, al igual que otras macroalgas, se ha descrito por tener una estrategia de anticipación a la temporada y presenta un periodo de mayor crecimiento durante los meses de octubre y noviembre con una producción de 0.04 g d⁻¹ de peso seco diario (Tala and Edding 2007). Este crecimiento ocurre en el tejido meristemático ubicado entre la base de las láminas y el estipe, y a medida que las láminas crecen, el tejido se pierde en la zona apical, tejido que es traspasado a la producción secundaria o hacia la columna de agua como material particulado (Tala and Edding 2005, 2007; Edding, Tala, and Vásquez 2006). Hasta 11 g de peso seco m² d⁻¹ (2.46 gC m² d⁻¹, (Tala and Edding 2007)) es producido por esta especie, y junto con *L. spicata* presentan valores altamente superiores al compararlas con otras macroalgas pardas (Krumhansl and Scheibling 2012). Sin embargo, esta estimación corresponde a una población específica en la zona norte de Chile, específicamente en la localidad de Tongoy (30°15'S–71°15'W) (Tala and Edding 2007), y no existen otras estimaciones de la productividad de *L. trabeculata* a lo largo de la costa de Chile.

Tanto las mediciones directas de la biomasa a intervalos de tiempo y área (i.e. Standing stock), como las mediciones del crecimiento, han sido considerados como buenos proxys de la productividad (Edding, Tala, and Vásquez 2006), y la información de la densidad, morfología y tallas de *L. trabeculata* son útiles para realizar estas estimaciones a partir de poblaciones naturales a lo largo de su distribución. Para poder extrapolar la información de biomasa, la tallas del disco se ha descrito por ser un buen predictor del peso, presentando una relación exponencial (Vasquez 1991). Sin embargo, es relevante entender que las formas de crecimiento en esta especie varían según las condiciones locales (i.e exposición, herbivoría, entre otros) y por lo tanto esta relación puede variar dependiendo del sitio.

Al igual como se ha observado en otras especies de macroalgas pardas se espera que la productividad varíe a lo largo de un gradiente latitudinal debido al cambio en las condiciones ambientales (i.e. temperatura). En un contexto temporal, se sabe que los patrones de crecimiento están ampliamente determinados por las condiciones ambientales a lo largo de las estaciones del año (Tala and Edding 2007; Smale et al. 2020). Sin embargo, la variación en la biomasa acumulada para especies perennes como *L. trabeculata*, debería permanecer estable a lo largo del año independiente de la localidad, a menos que la población sea explotada. Uno de los efectos descritos a causa de la explotación de estas algas ha sido la disminución en la estructura de tallas de las poblaciones naturales, donde algas con discos más pequeños empiezan a dominar el bosque, en un proceso denominado juvenilización (Figueroa-Fabrega et al., n.d.). La disminución de las tallas en las poblaciones, se verá reflejada directamente en la biomasa acumulada en las poblaciones naturales, por lo que sitios con mayor historia de explotación debieran reflejar una menor producción de biomasa.

Objetivos

1. Determinar la relación entre la longitud del disco y el peso de *L. trabeculata* en diferentes localidades de la zona norte y centro de Chile y comparar los parámetros con aquellos previamente descritos para la especie.
2. Evaluar la variación de la biomasa acumulada en un gradiente latitudinal en diferentes escalas de tiempo (estacionales y anuales).

Metodología

A partir de diferentes bases de datos (Figura 1) provenientes de proyectos Fondecyt y de monitoreos realizados en áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB) se realizó una estimación de la biomasa acumulada en las poblaciones de *Lessonia trabeculata*, como un proxy de la productividad primaria de esta especie, en un rango latitudinal desde los -33.369283 °S hasta -29.6985069 con información que fluctúa desde el año 2012 al 2019.

Site	Lat	Lon	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Caleta Hornos	-29.69	-71.31	X	X						
El Francés	-30.09	-71.37	X	X	X					
Punta Talca	-30.87	-71.68	X	X						
Los Molles	-32.23	-71.52	X	X				X		
Zapallar	-32.54	-71.46	X	X						
Quintay	-33.18	-71.69	X	X	X	X	X	X	X	X
Algarrobo	-33.36	-71.69	X	X	X					
Carrizal Bajo	-28.05	-71.14							X	
Chañaral de Aceituno	-29.11	-71.49							X	
Cobquecura	-36.15	-72.82							X	X
Las Cruces	-33.50	-71.63							X	
Los Vilos	-31.93	-71.51							X	
Punta Yeso	-23.41	-70.60							X	
Ventana	-32.72	-71.50							X	X

Figure 1: Información de los monitoreos de *Lessonia trabeculata* para 13 sitios y 8 años en Chile disponible en las diferentes bases de datos

En los diferentes proyectos, la información sobre la densidad y estructura de talla de *L. trabeculata* fue realizada mediante buceo autónomo en transectos equidistantes y perpendiculares a la línea de costa, los cuales varían en longitud dependiendo del proyecto (i.e 25, 50 o 100 m) y abarcan profundidades entre los 20 y 5 m. Las mediciones de la morfología de las algas fueron realizadas en cuadrantes de 1m² en estaciones (cada 5 o 10 m) a lo largo del transecto. Todas las bases de datos cuentan con información del diámetro máximo del disco (D) y abundancia de algas por cuadrante, y en algunos casos se cuentan con mayor detalle la morfología, agregándose el número de estipes (E) y largo total (LT).

Table 1: Resultados del modelo lineal generalizado (GLM) evaluando la relación entre el peso y la talla de *Lessonia trabeculata* por sitio

term	estimate	std.error	statistic	p.value
(Intercept)	-5.2799348	0.3648131	-14.4729874	0.0000000
I(log(Diametro.extraida))	2.1252435	0.1116526	19.0344279	0.0000000
SitioCobquecura	-0.0247278	0.1280340	-0.1931348	0.8470867
SitioLos Vilos sector C	0.2977969	0.1241646	2.3984032	0.0175623
SitioPunta el Yeso	-0.2397520	0.1811777	-1.3232978	0.1875345
SitioQuintay protected	0.1099723	0.1839845	0.5977261	0.5508275
SitioVentana	-0.1141860	0.1451084	-0.7869013	0.4324483

Para calcular la biomasa a partir de la talla de los discos de *L. trabeculata* se utilizó la ecuación

$$B = aL^b$$

donde L , corresponde al diámetro del disco y, a y b son constantes de la relación entre el diámetro del disco y el peso. Para determinar si esta la relación varía entre sitios, se utilizó una base de datos de 6 sitios entre los -23.415222°S y los -36.164765°W . En cada sitio, 30 algas fueron extraídas desde el disco de adhesión obteniendo el alga completa y variables morfológicas, como el diámetro del disco (L), el número de estipes (E), y el largo total (LT) fueron medidos. Las diferencias entre sitios y los parametros de la relación fueron estimados mediante un análisis lineal generalizado (GLM), y el intercepto y la pendiente fueron usados como los parametros a y b de la ecuación de biomasa, respectivamente. Posteriormente un anova al GLM fue realizado para determinar si el efecto del factor sitio era significativo.

Para determinar como varía la biomasa de los bosques de *L. trabeculata* a lo largo del gradiente latitudinal y temporal, se utilizaron sólo las bases de datos de los años 2012 y 2013. Durante estos años, un total de 13 sitios entre los $-29.69850687^\circ\text{S}$ y los $-33.36483661^\circ\text{W}$ fueron monitoreados en las temporadas de otoño y primavera. A partir de esta información, diferentes modelos lineales generalizados (GLM, distribución de errores “gaussian”) fueron utilizados para entender los factores que estarían determinando la variación en biomasa y se seleccionó el modelo que mejor explicara la variación a través del paquete broom y seleccionando aquel con un menor AIC (Criterio de información de Akaike, (Crawley 2012)).

Resultados

La relación entre el diametro máximo del disco y el peso de *L. trabeculata* en diferentes localidades presenta una relación exponencial, que al ser transformada a logaritmo pudo ser ajustada como una relación lineal (Figura 2). La biomasa de *L. trabeculata* varió de manera significativa para la localidad de Los Vilos (Tabla 1, color verde en Figura 2). Sin embargo, ya que sólo un sitio generó diferencias significativas, los parametros de intercepto (5.279934) y pendiente (2.1252435) fueron utilizados para aplicarse a la ecuación de biomasa.

Al estimar la biomasa en las 7 localidades durante los años 2012 y 2013, se pudo observar que esta va aumentando a medida que aumenta latitud (Figura 3), pero vuelve a disminuir en la latitud más al sur, correspondiente a la localidad de Algarrobo. Junto con Algarrobo, la localidad de Totoralillo ($-30.0939569^\circ\text{S}$) se encontraron las menores biomásas. Por el contrario, la mayor biomasa se encontró en la latitud $-32.54715419^\circ\text{S}$, en la localidad de Zapallar (V región), seguido de la latitud $-30.87694613^\circ\text{S}$ en Punta de Talca (VI región).

La variación de la biomasa entre el las temporadas de Otoño y Primavera en los años 2012 y 2013 tendió al aumento en la mayoría de las localidades, excepto para la localidad de Los Molles ($-32.23052136^\circ\text{S}$)(Figura 3). La biomasa varió de manera significativa a través de las temporadas y las localidades (Tabla 2), específicamente en la latitud $-32.5471541^\circ\text{S}$ (Zapallar), donde la temporada de Primavera 2012 la biomasa disminuyó a menos de la mitad en comparación con primavera del 2013. La otra latitud que presentó diferencias significativas

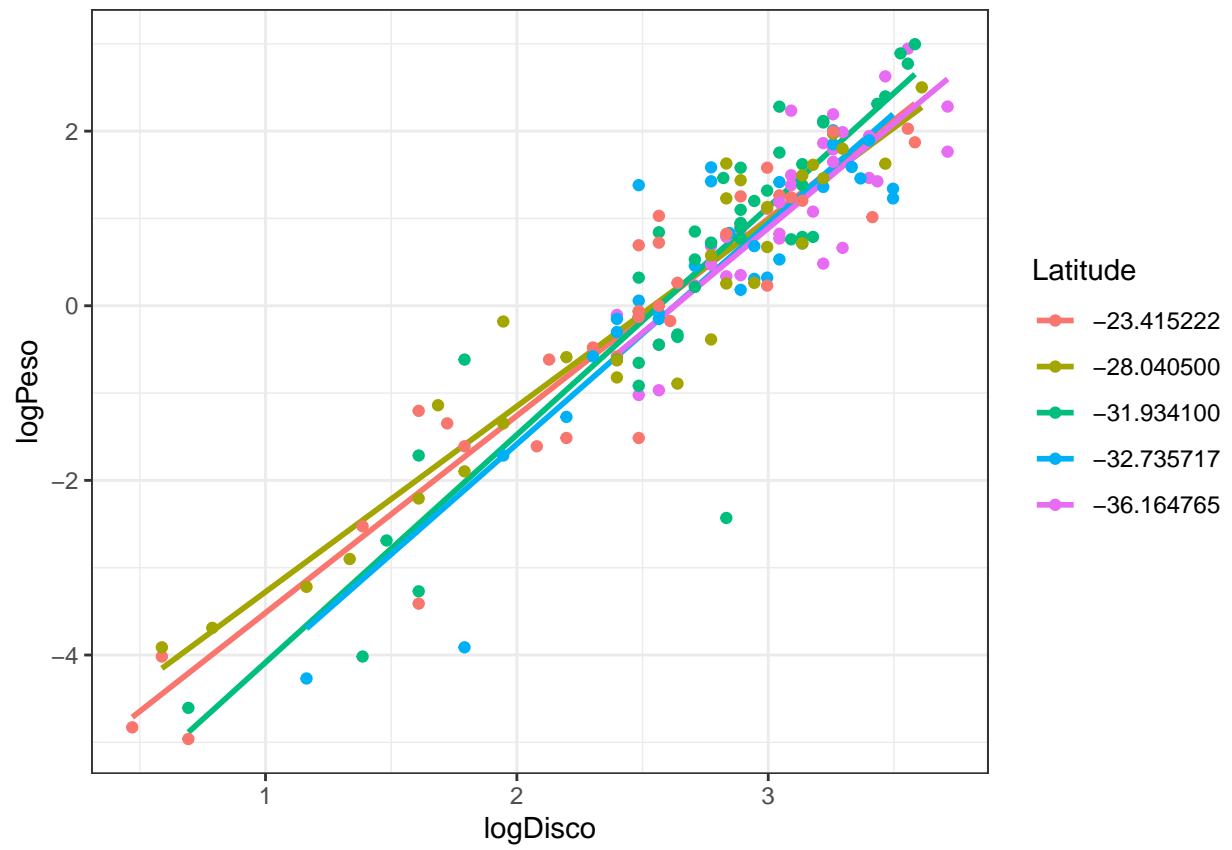


Figure 2: Relación entre el logaritmo del Diametro del Disco (cm) y el logaritmo del Peso (g) de *Lessonia trabeculata*

Table 2: Resultados del modelo lineal generalizado (GLM: Biomasa Latitud + Temporadas) entre la biomasa de *Lessonia trabeculata* entre temporadas otoño y primavera entre 2012 y 2013 en un gradiente latitudinal.

term	estimate	std.error	statistic	p.value
(Intercept)	34.7123191	8.759908	3.9626352	0.0001376
Latitude-33.19193931	34.4414394	10.364863	3.3229036	0.0012377
Latitude-32.54715419	52.9224052	10.364863	5.1059437	0.0000015
Latitude-32.23052136	12.6746431	10.364863	1.2228472	0.2242053
Latitude-30.87694613	42.3620908	10.364863	4.0870865	0.0000872
Latitude-30.0939569	0.3187103	10.364863	0.0307491	0.9755297
Latitude-29.69850687	14.0898640	10.364863	1.3593874	0.1770217
SeasonFall2013	3.6759344	7.835100	0.4691624	0.6399548
SeasonSpring2012	-23.7013729	7.835100	-3.0250250	0.0031461
SeasonSpring2013	5.1368521	7.835100	0.6556205	0.5135444

correspondió a -30.87694613°S (Punta Talca), donde ambas temporadas de primavera fueron menores a las temporadas de otoño (Figura 3).

Discusión

Al evaluar la relación entre el disco de *L. trabeculata* y su peso, se observó uno de los sitios fue significativamente diferente, entregando un efecto significativo entre sitios, sin embargo, los parametros de la relación fueron diferentes de los parametros previamente descritos para la especie (intercepto=4.93 y pendiente=0.15) (Vasquez 1991). Estos parametros descritos fueron obtenidos sólo desde la latitud 30°, cercano al sitio de Totoralillo.

En función de las hipótesis propuestas, la variación de la biomasa tendió a aumentar a medida que aumentaba la latitud, coincidente con la disminución de la temperatura, que es uno de los principales factores ambientales que determina la productividad de estas macroalgas (Smale et al. 2020). Sin embargo, los sitios que se están comparando, incluyen tanto áreas manejo y recursos bentónicos (amerb), como áreas libres. En este sentido, se observó que los sitios con mayor biomasa, correspondieron a AMERBs e incluso algunos de ellos cercanos a focos de surgencia que podrían estar favoreciendo la productividad (Perez-Matus et al. 2017). Por otro lado, la variación temporal (entre otoño y primavera) también fue significativa, por lo que la hipótesis sobre la estabilidad de la biomasa (Tala and Edding 2007) independiente de la latitud se rechaza.

Este trabajo representa un avance del análisis de varias bases de datos que buscan entender la variación de la productividad de las poblaciones de *L. trabeculata* a lo largo de su distribución, por lo que estas mismas hipótesis deben ser probadas con nuevas bases de datos en otros años y sitios. Además, nuevos factores como la abundancia de herbívoros en cada localidad será evaluada para entender mejor la variación de la productividad a escala de sitio.

Referencias

- Bearham, Douglas, Mathew A Vanderklift, and Jim R Gunson. 2013. "Temperature and Light Explain Spatial Variation in Growth and Productivity of the Kelp *Ecklonia Radiata*." *Marine Ecology Progress Series* 476: 59–70.
- Crawley, Michael J. 2012. *The R Book*. John Wiley & Sons.
- Dierssen, HM, Richard C Zimmerman, Lisa A Drake, and David J Burdige. 2009. "Potential Export of Unattached Benthic Macroalgae to the Deep Sea Through Wind-Driven Langmuir Circulation." *Geophysical Research Letters* 36 (4).

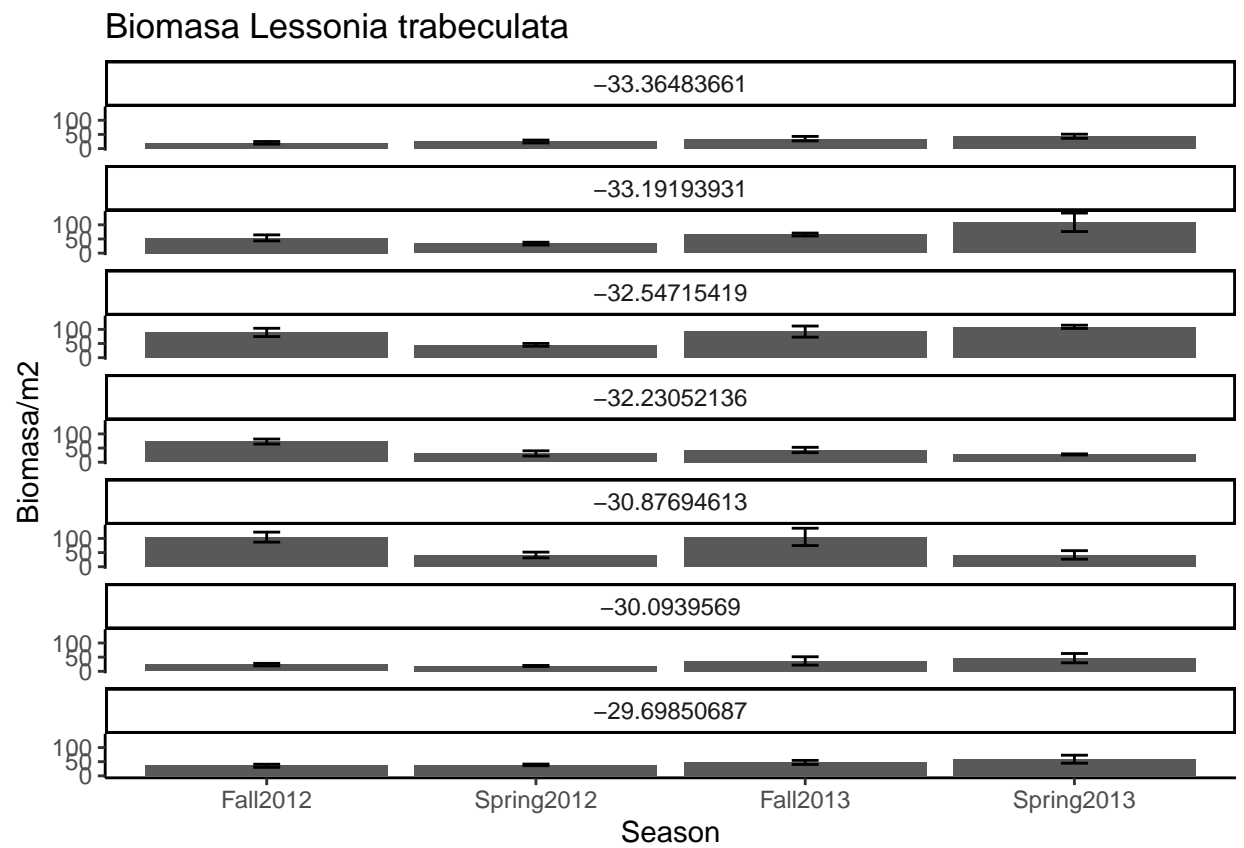


Figure 3: Variación de la biomasa de *Lessonia trabeculata* a lo largo de las temporadas de otoño y primavera durante los años 2012 y 2013 en un gradiente latitudinal entre los 29°-33°S

- Duarte, Carlos M. 2017. "Reviews and Syntheses: Hidden Forests, the Role of Vegetated Coastal Habitats in the Ocean Carbon Budget."
- Duarte, Carlos M, Iñigo J Losada, Iris E Hendriks, Inés Mazarrasa, and Núria Marbà. 2013. "The Role of Coastal Plant Communities for Climate Change Mitigation and Adaptation." *Nature Climate Change* 3 (11): 961–68.
- Edding, Mario, Fadia Tala, and Julio Vásquez. 2006. "Fotosíntesis, Productividad Y Algas Marinas." *Fisiología Vegetal. Ediciones Universidad de La Serena*, 1–39.
- Falkowski, Paul G, and Andrew H Knoll. 2007. "An Introduction to Primary Producers in the Sea: Who They Are, What They Do, and When They Evolved." In *Evolution of Primary Producers in the Sea*, 1–6. Elsevier.
- Figuerola-Fabrega, Luis, Tiare Padilla, Maria Jose Herrera, Luis Ariz, and Rodrigo Silva Haun. n.d. "Revista: Anales Del Museo de Historia Natural de Valparaíso. N 30, 2017, Pag 61-70."
- Filbee-Dexter, Karen, and Thomas Wernberg. 2020. "Substantial Blue Carbon in Overlooked Australian Kelp Forests." *Scientific Reports* 10 (1): 1–6.
- Graham, MH, JA Vasquez, and AH Buschmann. n.d. "Global Ecology of the Giant Kelp Macroalga: From Ecotypes to Ecosystems. Chapter: 2. Gibson, Rn, Atkinson, Rja, and Gordon, Jdm." *Oceanography and Marine Biology* 45: 1.
- Krause-Jensen, Dorte, and Carlos M Duarte. 2016. "Substantial Role of Macroalgae in Marine Carbon Sequestration." *Nature Geoscience* 9 (10): 737–42.
- Krumhansl, Kira A, Daniel K Okamoto, Andrew Rassweiler, Mark Novak, John J Bolton, Kyle C Cavanaugh, Sean D Connell, et al. 2016. "Global Patterns of Kelp Forest Change over the Past Half-Century." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113 (48): 13785–90.
- Krumhansl, Kira A, and Robert E Scheibling. 2012. "Production and Fate of Kelp Detritus." *Marine Ecology Progress Series* 467: 281–302.
- Macreadie, Peter I, Andrea Anton, John A Raven, Nicola Beaumont, Rod M Connolly, Daniel A Friess, Jeffrey J Kelleway, et al. 2019. "The Future of Blue Carbon Science." *Nature Communications* 10 (1): 1–13.
- MARTIN, WILLIAM. 2007. "Eukaryote and Mitochondrial Origins: Two Sides of the Same Coin and Too Much Ado About Oxygen." In *Evolution of Primary Producers in the Sea*, 55–73. Elsevier.
- Perez-Matus, Alejandro, Sergio A Carrasco, Stefan Gelcich, Miriam Fernandez, and Evie A Wieters. 2017. "Exploring the Effects of Fishing Pressure and Upwelling Intensity over Subtidal Kelp Forest Communities in Central Chile." *Ecosphere* 8 (5): e01808.
- Pettorelli, Nathalie, Henrike Schulte to Bühne, Ayesha Tulloch, Grégoire Dubois, Cate Macinnis-Ng, Ana M Queiros, David A Keith, et al. 2018. "Satellite Remote Sensing of Ecosystem Functions: Opportunities, Challenges and Way Forward." *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 4 (2): 71–93.
- Reed, Daniel C, Andrew Rassweiler, and Katie K Arkema. 2008. "Biomass Rather Than Growth Rate Determines Variation in Net Primary Production by Giant Kelp." *Ecology* 89 (9): 2493–2505.
- Smale, Dan A, Albert Pessarrodona, Nathan King, Michael T Burrows, Anna Yunnice, Thomas Vance, and Pippa Moore. 2020. "Environmental Factors Influencing Primary Productivity of the Forest-Forming Kelp *Laminaria Hyperborea* in the Northeast Atlantic." *Scientific Reports* 10 (1): 1–12.
- Steneck, Robert S, Michael H Graham, Bruce J Bourque, Debbie Corbett, Jon M Erlandson, James A Estes, and Mia J Tegner. 2002. "Kelp Forest Ecosystems: Biodiversity, Stability, Resilience and Future." *Environmental Conservation*, 436–59.
- Tala, Fadia, and Mario Edding. 2005. "Growth and Loss of Distal Tissue in Blades of *Lessonia nigrescens* and *Lessonia trabeculata* (Laminariales)." *Aquatic Botany* 82 (1): 39–54.

- . 2007. “First Estimates of Productivity in *Lessonia Trabeculata* and *Lessonia Nigrescens* (Phaeophyceae, Laminariales) from the Southeast Pacific.” *Phycological Research* 55 (1): 66–79.
- Vasquez, JULIO A. 1991. “Variables Morfometricas Y Relaciones Morfológicas de *Lessonia Trabeculata* Villouta & Santelices, 1986, En Una Poblacion Submareal Del Norte de Chile.” *Revista Chilena de Historia Natural* 64: 271–79.
- Vasquez, Julio A, Sergio Zuniga, Fadia Tala, Nicole Piaget, Deni C Rodriguez, and JM Alonso Vega. 2014. “Economic Valuation of Kelp Forests in Northern Chile: Values of Goods and Services of the Ecosystem.” *Journal of Applied Phycology* 26 (2): 1081–8.
- VEGA, JM ALONSO, JULIO A VASQUEZ, and ALEJANDRO H BUSCHMANN. 2005. “Population Biology of the Subtidal Kelps *Macrocystis Integrifolia* and *Lessonia Trabeculata* (Laminariales, Phaeophyceae) in an Upwelling Ecosystem of Northern Chile: Interannual Variability and El Niño 1997-1998.” *Revista Chilena de Historia Natural* 78 (1): 33–50.
- Villouta, E, and B Santelices. 1986. “*Lessonia Trabeculata* Sp. Nov.(Laminariales, Phaeophyta), a New Kelp from Chile.” *Phycologia* 25 (1): 81–86.
- Wernberg, Thomas, Kira Krumhansl, Karen Filbee-Dexter, and Morten F Pedersen. 2019. “Status and Trends for the World’s Kelp Forests.” In *World Seas: An Environmental Evaluation*, 57–78. Elsevier.